

На правах рукописи

Карпенко Юрий Дмитриевич

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И
РЕАКТИВНОСТИ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ
У СТУДЕНТОВ**

03.03.01 - физиология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора биологических наук

Казань – 2013

Работа выполнена на кафедре анатомии, физиологии и гигиены человека
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования «Чувашский государственный
педагогический университет им. И.Я.Яковлева».

Научный консультант

доктор медицинских наук, профессор Димитриев Дмитрий Алексеевич

Официальные оппоненты

Раевский Владимир Вячеславович, доктор биологических наук, профессор,
заведующий лабораторией нейроонтогенеза ФГБУН «Институт высшей нервной
деятельности и нейрофизиологии РАН»

Балыкин Михаил Васильевич, доктор биологических наук, профессор,
заведующий кафедрой адаптивной физической культуры ФГБОУ ВПО
«Ульяновский государственный университет»

Куприянов Сергей Владиленович, доктор медицинских наук, профессор,
заведующий кафедрой нормальной физиологии ФГБОУ ВПО «Чувашский
государственный университет им. И. Н. Ульянова»

Ведущая организация ФГБОУ ВПО «Московский государственный
университет им. М.В. Ломоносова»

Защита диссертации состоится 13 мая 2013 г. в 12.00 часов на заседании
диссертационного совета Д 212.081.28 при ФГАОУ ВПО «Казанский
(Приволжский) федеральный университет» по адресу: 428008, г. Казань, ул.
Левобулачная, 44.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке им.
Н.И.Лобачевского при ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный
университет» по адресу: 428008, г. Казань, ул. Кремлевская, 35.

Автореферат разослан «__» _____ 2013 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета,
доктор медицинских наук, профессор

Зефилов Тимур Львович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Объединение сердечно-сосудистой системы и дыхательной системы в единое целое, которое получила название «кардиореспираторная система», является результатом продолжительного и обширного исследования взаимодействия между дыханием и процессами циркуляции крови (Бреслав И.С., Ноздрачев А.Д.; 2007; Дони́на Ж.А., 2011). Одним из магистральных направлений данного исследования является оценка совместного изменения показателей, отражающих функционирование сердечно-сосудистой системы и системы внешнего дыхания (Ванюшин Ю.С., 2001; Дони́на Ж.А. и соавторы, 2006; Агаджанян Н.А.; Куприянов С.В., 2008). В случае исследований кардиореспираторной системы человека это запись и анализ показателей внешнего дыхания и показателей, отражающих функционирование сердечно-сосудистой системы.

В современной физиологии человека все большее значение приобретает изучение сложных сигналов, которые формируются в результате взаимодействия как между отдельными элементами одной функциональной системы, так и между различными функциональными системами (Агаджанян Н.А., 1997; Brennan M. et al, 2002; Машин В.А., 2007). Такое взаимодействие создает сложный паттерн временных колебаний сигнала; этот паттерн отображает функциональные процессы, лежащие как в основе физиологических функций отдельного органа или системы органов, так и обеспечивающие целостность организма, формирование спланированной и эффективной адаптационной реакции на воздействие внешних стимулов (Глазачев О.С., Судаков К.В., 1999; de Boer R. W. et al., 1985; Malpas S.C., 2002.). К числу таких сигналов относится ритм сердца. Колебания ритма сердца, выраженные в виде изменения продолжительности интервалов RR, связанные с дыхательным циклом, получили название «респираторной синусовой аритмии (РСА)» (Баевский Р.М. и соавторы, 2002; Галеев А.Р. и соавторы, 2002; Malik M. et al., 2004); первые проявления этой вариабельности были отмечены Майером (Julien C., 2006). По мере развития математических методов анализа данного сигнала и исследования влияния изменения положения тела, холиноблокаторов и адреноблокаторов на получаемые в результате такого анализа показатели вариабельности сердечного ритма, было установлено, что данный физиологический феномен отражает функциональное состояние парасимпатического отдела ВНС (Eckberg D.L., 2009). Общая концепция вегетативной регуляции, разработанная Порджесом, позволяет расширенно интерпретировать дыхательную синусовую аритмию - не просто как проявление активности парасимпатического отдела ВНС, но и как индивидуальную типологическую особенность, которая является проявлением взаимодействия между роstralными и стволовыми структурами головного мозга, а также психологической реактивности (Porges S.W., 2007). Данное толкование респираторной синусовой аритмии нашло свое подтверждение в работах ряда авторов (Kreibig S.D. 2010). Этими авторами была выявлена

выраженная предикторная функция дыхательной синусовой аритмии в состоянии покоя для выраженности психологической реакции; в то же время, не были проведены исследования значимости RSA для реактивной тревожности при стрессе реальной жизни. Также недостаточно изучен вопрос о влиянии различных социальных факторов и пола на уровень дыхательной аритмии как в состоянии покоя, так и при стрессе реальной жизни.

Измерение синусовой аритмии при во всех её проявлениях всё еще остаётся важной задачей физиологии человека, несмотря на то, что с момента публикации пионерский работ по вариабельности сердечного ритма прошло более полувека (Баевский Р.М., Иванов Г.Г., 2001; Billman G.E. 2011). Это связано с тем, что ВСР является результатом взаимодействия нескольких осцилляторов, наиболее важными из которых являются дыхание и барорефлекс (Божокин С.В., 2012; Bernston G.G., 1997; Eckberg D.L., 2003). Одним из направлений совершенствования анализа ВСР является изучение графика Пуанкаре, точки которого отражают быстрое изменение продолжительности кардиоинтервалов ($RR_n - RR_{n+1}$). Изучается ширина облака, длина облака, площадь облака, распределение точек относительно центра (Brennan M., 2001). В последнее время к этому списку добавилась оценка распределения точек относительно линии идентичности, т.е. исследование асимметрии облака Пуанкаре с применением различных мер асимметрии, из которых наибольшее распространение получил коэффициент Гузика (Piskorski J., Guzik P., 2007). Метод вычисления данного показателя подвергся значительному усовершенствованию, что определяет необходимость проведения исследования, направленного на изучение физиологической сущности асимметрии и делает актуальным изучение коэффициента Гузика, вычисленного посредством разных методов определения внутренней структуры облака при анализе кардиоритмограмм, записанных при различных функциональных состояниях. Здесь необходимо отметить, что в настоящее время в литературе недостаточно представлены данные о влиянии эмоционального состояния на асимметрию облака на графике Пуанкаре. Karmaakar M. и соавторы (2011) разработали оригинальный метод анализа внутренней динамики внутри облака посредством вычисления взвешенной суммы внутренней площади треугольников, образованных выборкой точек с различным лагом (комплексной корреляционной меры - ККМ). Эксперименты с применением атропина и атенолола показали, что данная мера чувствительна к изменению тонуса симпатического и парасимпатического отдела ВНС, но отсутствуют данные о влиянии эмоционального состояния на данный показатель, а также о связи между респираторной синусовой аритмией и ККМ.

В основе RSA лежит взаимодействие между системой внешнего дыхания и сердечно-сосудистой системой. Это явление представляет собой сложный физиологический феномен, в котором заключены как связи между дыхательным и сосудо-двигательным центром на уровне ствола мозга, так и периферическое взаимодействие посредством барорефлекторной дуги (Malpas S.C., 2002; Eckberg D.L., 2004). Ключевым аспектом данного взаимодействия является влияние парасимпатического отдела ВНС (проявляющееся в форме

РСА) на синусовый узел и гладкую мускулатуру бронхов. В современной литературе эти влияния преимущественно изучаются в лабораторных условиях с участием людей разного возраста, страдающих бронхиальной астмой (Ritz T. et al., 2004, 2005, 2010). С учётом этого, большое значение может иметь изучение влияния повседневных колебаний эмоционального состояния на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы и системы внешнего дыхания, а также на вегетативный баланс.

РСА наиболее ярко проявляется при дыхании с заданной частотой. Обычно для этого используется дыхание с навязанной частотой дыхательных движений 0,1 Гц (6 дыханий в минуту). Данная методика может дать большую информацию о кардиореспираторном взаимодействии, если расширить спектр заданной частоты дыхания и изучить физиологический феномен, который получил название «кардио-респираторный» резонанс (Vaschillo E.G., 2006). Исследование этого феномена имеет большое теоретическое значение, позволяя выявить физиологические и антропометрические детерминанты резонанса.

Изучение вариабельности сердечного ритма можно использовать для оценки индивидуальных типологических особенностей, в том числе, связанных с полом, социальным положением и антропометрическими показателями (Malik M, 2004, Димитриев Д.А., 2010), а также с особенностями ранних периодов онтогенеза (Poore K.R. et al, 2010). Современная концепция онтогенеза позволяет предположить, что любое нарушение протекания внутриутробного периода развития может оказать существенное влияние на характер вариабельности сердечного ритма и, в частности, на дыхательную синусовую аритмию.

Восприятие мира осуществляется посредством сенсорных систем; это восприятие имеет выраженную эмоциональную составляющую (Shepherd D., 2009). К числу сенсорных стимулов относятся звуки, воздействие которых может сопровождаться выраженной вегетативной и эмоциональной реакцией. Особенно важным представляется изучение эффекта не просто от высокого уровня звукового воздействия на вегетативную нервную систему (таких работ довольно много), а изучение воздействия на организм того смыслового и эмоционального содержания, который несёт с собой звук.

Целью нашего исследования является изучение функционирования кардиореспираторной системы как единого целого, а также оценка влияния конституциональных особенностей и экзогенных факторов на параметры вариабельности сердечного ритма и показатели внешнего дыхания.

Задачи исследования.

1. Исследование респираторной синусовой аритмии как проявления кардиореспираторного взаимодействия и индивидуальной типологической особенности.

2. Изучение влияния стресса реальной жизни на функционирование сердечно-сосудистой системы и системы внешнего дыхания.

3. Оценка значимости индивидуальных типологических особенностей для функционального состояния кардиореспираторной системы.

4. Изучение влияния сенсорных стимулов на характер функционирования кардиореспираторной системы.

5. Исследование изменения нелинейных показателей variability сердечного ритма, полученных на основе скатерограммы, для оценки функционального состояния системы регуляции ритма сердца.

6. Построение обобщающих моделей, описывающих кардиореспираторное взаимодействие при различных функциональных состояниях.

Научная новизна.

1. Впервые было проведено исследование состояния кардиореспираторной системы при стрессе реальной жизни у здоровых индивидуумов.

2. Впервые у здоровых людей на индивидуальном уровне была описана связь между уровнем реактивной тревожности и состоянием кардиореспираторной системы, а также выявлена корреляция между респираторной синусовой аритмией и параметрами объёмной скорости выдоха.

3. Впервые было проведено изучение характера изменения асимметрии облака на графике Пуанкаре и комплексной корреляционной меры при различных режимах дыхания и при стрессе реальной жизни.

4. Впервые была исследована динамика функционального состояния кардиореспираторной системы у студентов в течение всего срока обучения в вузе.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Полученные в ходе исследования данные вносят большой вклад в теорию взаимодействия между отдельными элементами кардиореспираторной системы, а результаты изучения кардиореспираторного резонанса позволяют выйти на новый уровень понимания процессов формирования дыхательной синусовой аритмии и перейти к изучению индивидуальных типологических особенностей, влияющих на её характер.

Материалы проведённого исследования указывают на то, что изменение функциональных параметров, наблюдаемое при реакции на какой-либо стимул, может быть в значительной степени обусловлено не только самим воздействием, но и зависит от исходного уровня параметра: вследствие регрессии к среднему возможна как ложно положительная, так и ложно отрицательная реакция.

Результаты изучения поведения нелинейных показателей variability сердечного ритма, вычисленных на основе графика Пуанкаре, свидетельствуют об информативности этих переменных для оценки функционального состояния организма в условиях психоэмоционального напряжения, а характер изменения комплексной корреляционной меры указывает на связь этого показателя variability ритма сердца с дыхательной аритмией.

Результаты исследования могут быть использованы при проведении тестирования функционального состояния, а также для прогнозирования реакции на эмоционально значимое воздействие.

Полученные в ходе исследования данные использовались при преподавании физиологии человека, психофизиологии, возрастной анатомии и физиологии.

Внедрение результатов исследования.

Научные положения, выводы и рекомендации диссертационной работы внедрены в учебный процесс ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», ГБОУ ВПО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева», Чебоксарского кооперативного института (филиала) АНО ВПО ЦС РФ «Российский университет кооперации», ФГБОУ ВПО «Казанский государственный аграрный университет» (кафедра физического воспитания при чтении курсов «Возрастная физиология» и «Психофизиология» и в лечебно-профилактические мероприятия ФГБУ «Лечебно-реабилитационный центр» Министерства здравоохранения Российской Федерации, БУ Чувашской Республики «Городская клиническая больница №1» Минздравсоцразвития Чувашской Республики, БУ «Президентский перинатальный центр» Минздравсоцразвития Чувашской Республики.

Апробация работы.

Основные научные разработки, выводы и рекомендации диссертационной работы доложены на I Съезде физиологов СНГ (Москва, 2005), на XX съезде физиологического общества им. И.П. Павлова (Москва, 2007), на VI Сибирском физиологическом съезде (Барнаул, 2008), на конференции Life Sciences (Glasgow 2007), на Scandinavian physiological society's annual meeting, (Bergen, Norway, 2011), на конференции ISEE (Columbia, SC, USA, 2012), на конгрессах International organization of psychophysiology - ISOP14 (St. Petersburg, Russia, 2008) и ISOP16 (Pisa, Italy, 2012). Результаты диссертационного исследования были также представлены на всероссийской научной конференции «Физиология сердца» (Казань, 2005), на всероссийской научно-технической конференции «Приоритетные направления развития науки и технологий» (Тула, 2007), на IX всероссийской научно-теоретической конференции «Физиологические механизмы адаптации растущего организма» (Казань, 2008), на международной конференции «Физиология развития человека» (Москва, 2009), на всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Вариабельность сердечного ритма» (Чебоксары, 2011).

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Ведущую роль в изменении показателей объёмной скорости выдоха при эмоциональном напряжении играет снижение тонуса парасимпатического отдела вегетативной нервной системы.

2. При дыхании с заданной частотой происходит перестройка функционирования системы регуляции сердечного ритма, которая

сопровождается резким увеличением амплитуды дыхательной волны variability сердечного ритма на частоте дыхания, соответствующей резонансной частоте кардиореспираторной системы.

3. Уровень дыхательной синусовой аритмии представляет собой функцию от индивидуальных антропометрических, физиологических особенностей, на РСА у взрослых людей влияет характер течения процесса внутриутробного развития, а исходная дыхательная аритмия отражает баланс активности роstralных структур головного мозга, определяющих эмоциональную реактивность.

4. Сенсорная стимуляция вызывает существенное снижение уровня респираторной синусовой аритмии даже при низком уровне звука.

Публикации.

По материалам диссертации опубликовано 54 работы, из них 23 – в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК.

Структура и объем диссертации. Работа включает следующие разделы: введение (7 с.), обзор литературы (62 с.), методика проведения исследования (15 с.), собственные исследования (188 с.), заключение (14 с.), выводы (2 с.), практические рекомендации (2 с.), список литературы (47 с.) приложения (32 с.).

Диссертация изложена на 369 страницах, содержит 128 таблиц и 57 рисунков. Список литературы включает 883 источника, из них 217 – отечественных и 666 – иностранных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные исследования выполнялись на базе кафедры анатомии, физиологии и гигиены человека ФБГОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я.Яковлева» в период с 2006 по 2012 годы.

В исследованиях были задействованы клинически здоровые добровольцы обоего пола в возрасте 17-25 лет, в количестве 578 человек (студенты), из них женщин - 80%, мужчин - 20%. Среднее значение массы тела составило $57,52 \pm 0,41$ кг, длины тела - $165,23 \pm 0,55$ см., ИМТ - $21,13 \pm 0,18$, массы тела при рождении - $3321,52 \pm 37,26$ грамм.

Схема проведенного нами исследования состоит из нескольких этапов. Во-первых, нами было исследовано функциональное состояние системы регуляции ритма сердца в покое у студентов 1-5 курсов. Для проведения исследования взаимодействия в кардиореспираторной системе нами были изучены изменения показателей ВСР при различных режимах дыхания – свободном дыхании, дыхании с навязанной частотой 6,5 дых/мин, 6 дых/мин, 5,5 дых/мин, 5 дых/мин и 4,5/дых/мин. Исследование связей между показателями внешнего дыхания и респираторной синусовой аритмией (РСА) проводилось посредством продольных исследований, в которых приняло участие 12 студенток; каждая студентка обследовалась в течение 50-70 дней

(итого 751 человеко-дней). В ходе этих исследований также измерялся уровень реактивной тревожности и определялась фаза менструально-овариального цикла. На основе результатов этих исследований была оценена связь между РТ и ВСР, РТ и показателями внешнего дыхания, РСА и ПОС на индивидуальном уровне.

Нами было проведено изучение реактивности кардиореспираторной системы путем проведения исследований, которые включали в себя измерение параметров функционирования кардиореспираторной системы в МП и в период ОЭ. В исследовании приняло участие 227 человек. Исследование влияния шума на кардиореспираторную системы проводилось посредством контролируемого воздействия транспортного шума интенсивностью 60 дБ(А) через наушники на 20 человек; измерение функциональных показателей осуществлялось трижды: перед воздействием, во время воздействия, после воздействия.

Метод изучения variability ритма сердца. Исследование и анализ показателей ВСР проводились в соответствии с рекомендациями Европейской Ассоциации Кардиологии и Северо-Американской Ассоциации Электрофизиологии и Кардиоритмологии. Запись ритмограммы осуществлялось в положении лежа в течение 10 мин с помощью программно-аппаратного комплекса «Поли-Спектр» (ОАО «Нейрософт», г. Иваново). Оценивались статистические (NN50, pNN50, RMSSD, SDNN), геометрические показатели (Mo, AMo, MxDMn, ИИ (“стресс-индекс” (SI)) и показатели частотной области (LF, HF, LF/HF, pLF, pHF). Кроме того, были определены показатели графика Пуанкаре: SD1, SD2, SS, SD1/SD2 (M. Brennan et al, 2002), индекс асимметрии облака GI (Guzik P. et al, 2006), комплексная корреляционная мера KKM (Karmakar M. et al, 2009). На основе значений стресс-индекса был определен вегетативный баланс посредством сравнения индивидуального значения SI с критериями, предложенными А.Д. Ноздрачёвым и Ю.В. Щербатых (2001): $SI \leq 30$ – ваготония, $30 < SI \leq 120$ – нормотония, $120 < SI \leq 300$ – симпатикотония, $300 < SI \leq 600$ – сверхсимпатикотония, $SI > 600$ – запредельный тонус симпатического отдела ВНС.

Метод изучения функционального состояния системы внешнего дыхания. Исследование функции лёгких проводилось с помощью компьютерного спирографа «Спиро-Спектр» (ОАО «Нейрософт», г. Иваново). Определялись частота дыхания (ЧД), дыхательный объем (ДО), минутный объем дыхания (МОД), жизненная емкость легких (ЖЕЛ), форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ), объем форсированного выдоха за первую секунду (ОФВ1), пиковая объемная скорость (ПОС), мгновенные объемные скорости форсированного выдоха на уровне 25, 50 и 75% от форсированной жизненной емкости легких (МОС75, МОС50, МОС25), средняя объемная скорость на участке 25-75% от ФЖЕЛ (СОС25-75).

Метод исследования физиологических параметров сердечно-сосудистой системы. Измерение артериального давления осуществлялось согласно рекомендациям ВОЗ и Министерства здравоохранения РФ. Перед

измерением испытуемый в течение 5 минут находился в состоянии полного покоя, измерение проводилось трижды с интервалом 1 минута. Отбирались два результата измерения с разницей менее 5 мм.рт.ст.; на основе данных этих измерений вычислялось среднее значение показателя. Если все измерения отличались более чем на 5 мм.рт.ст., то проводилось повторное исследование с целью получения воспроизводимых результатов.

Метод исследования психологических показателей (личностной и ситуационной тревожности, чувствительности к шуму). Оценка уровня личностной и реактивной тревожности проводилось с помощью адаптированной шкалы Спилбергера. Уровень тревожности до 30 баллов оценивался как низкий, 31 – 45 – умеренный, 46 и выше – высокий (А. М. Карелин, 2007). Исследование шумовой чувствительности проводилось с применением адаптированного варианта теста Weinstein (Индейкина О.С., 2012). Согласно данному методу, уровень чувствительности к шуму, который составляет менее 39,8 баллов интерпретируется как низкая чувствительность; больше 39,8, но меньше 67,9 – как средняя чувствительность; больше 67,9 – как высокая чувствительность.

Метод статистической обработки данных. В ходе статистической обработки данных использовались методы описательной статистики, методы параметрической и непараметрической статистики, а также вычислялась логистическая регрессия.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение респираторного режима – от дыхания со свободной частотой до дыхания с навязанной частотой – сопровождается значительной перестройкой в функционировании кардиореспираторной системы. Эта перестройка проявляется в изменении формы ритмограммы, спектрограммы, скатерограммы. Так, при дыхании с заданной частотой 6 дых/мин происходило существенное увеличение амплитуды колебаний RR-интервалов и **появление** на ритмограмме выраженной основной дыхательной волны (рис. 1)



Рис. 1. Примеры ритмограмм при спокойном дыхании и дыхании с заданной частотой (6 дыханий в минуту).

Отформатировано: Шрифт: 14 пт

Отформатировано: Шрифт: 14 пт

Отформатировано: Шрифт: 14 пт,
не курсив

Отформатировано: Шрифт: 14 пт

Смена дыхательного режима вызвала существенное изменение уровня ЧСС (ANOVA $\chi^2=16,74$; $p=0,005$): переход с дыхания со свободной частотой (в среднем - $18,7\pm1,9$ дых./мин) на дыхание с заданной частотой 6,5 дых/мин сопровождался повышением среднего значения ЧСС с $72,53\pm2,43$ уд/мин до $76,16\pm1,94$ уд/мин. Затем по мере снижения ЧД происходило и снижение среднего значения ЧСС: при дыхании с частотой 6 дых/мин оно составило $73,42\pm2,35$ уд/мин, на частоте 5,5 дых/мин – $73,53\pm2,35$ уд/мин, 5 дых/мин – $71,32\pm2,49$ уд/мин, 4,5 дых/мин – $69,58\pm2,29$ уд/мин. Еще более выраженным было изменение SDNN (рис 2). При свободном дыхании среднее значение SDNN равнялось $74,79\pm9,6$ мс; затем произошло повышение SDNN при переходе на дыхание с частотой 6,5 дых/мин до $96,32\pm9,79$ мс. Снижение частоты дыхания до 6 дых/мин привело к дальнейшему повышению SDNN ($107,84\pm9,75$ мс); дыхание с частотой 5,5 дых/мин сопровождалось некоторым снижением SDNN ($96,05\pm9,71$ мс). Еще более низкие значения частоты дыхания вызвали небольшое повышение SDNN (5 дых/мин – $101,26\pm11,69$; 4,5 дых/мин – $106,58\pm11,21$ мс). Изменение частоты дыхания не оказало существенного влияния на уровень RMSSD (ANOVA $\chi^2=9,92$; $p=0,08$); такой же эффект вызвала смена режима дыхания и в отношении pNN50 (ANOVA $\chi^2=5,56$; $p=0,35$). Смена режима дыхания сопровождалась существенными изменениями LF (ANOVA $\chi^2=48,25$ при $p<0,0001$: рис. 3). Хотя изменения HF при смене режима дыхания были менее выраженными, они, все же, носили достоверный характер (ANOVA $\chi^2=15,33$; $p=0,009$). Графический паттерн средних значений HF имеет U – образный вид – спектральная мощность быстрых колебаний RR-интервалов при свободной частоте дыхания составила $3476,99\pm1085,76$ мс², при частоте дыхания 6,5 дых/мин – $1638,29\pm419,6$ мс², при 6 дых/мин – $2020,74\pm333,54$ мс², 5,5 дых/мин – $1685,62\pm334,45$ мс², 5 дых/мин – $2377,89\pm576,92$ мс², 4,5 дых/мин – $2932,19\pm742,1$ мс². Изменение частоты дыхания не вызвало существенного изменения VLF (ANOVA $\chi^2=0,67$; $p=0,98$), что свидетельствует в пользу предположения о том, что мощность VLF не связана с респираторной синусовой аритмией.

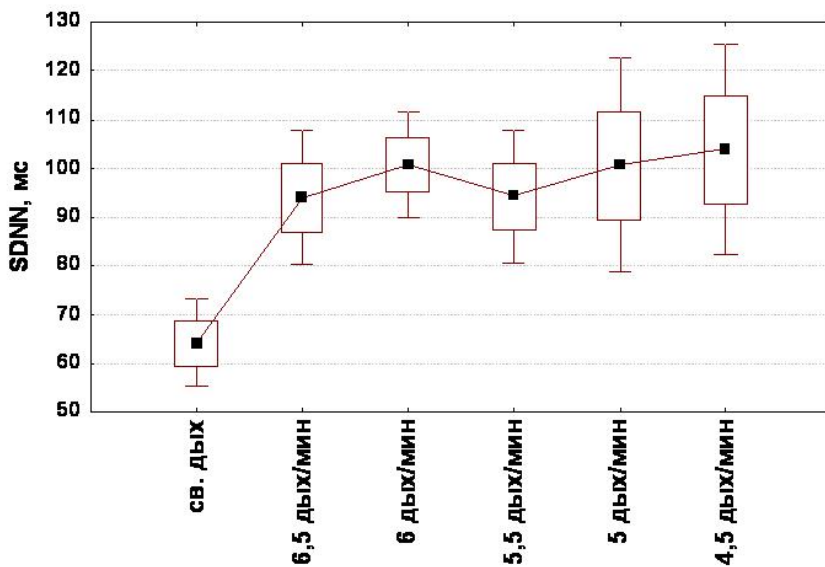


Рис. 2. Изменение SDNN при изменении ритма дыхания.

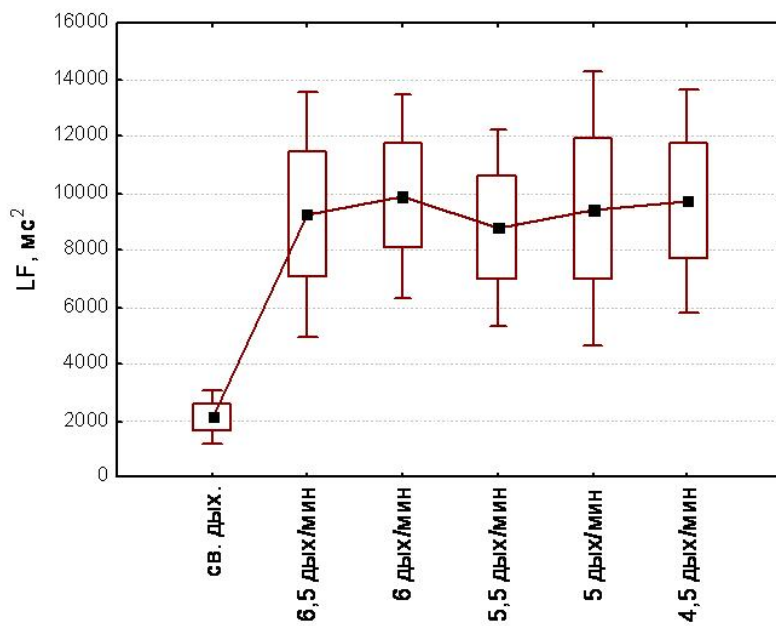


Рис. 3. Изменение LF при изменении ритма дыхания.

Сравнительный анализ значений SD1 при разном режиме дыхания не выявил достоверных различий между средними значениями этого показателя (ANOVA $\chi^2=6,28$; $p=0,28$), хотя при дыхании с частотой 6 дых/мин произошло повышение данного показателя с $36,87 \pm 5,67$ мс до $44,84 \pm 3,63$ мс ($z=3,21$; $p<0,01$). Гораздо более выражено режим дыхания влиял на длину облака на

графике Пуанкаре, т.е. на SD2 (ANOVA $\chi^2=30,76$; $p<0,001$). Наименьшее среднее значение SD2 отмечается при свободном дыхании ($82,13\pm 9,29$ мс). Снижение частоты дыхания до 6,5 дых/мин сопровождается повышением SD2 до $123,5\pm 12,52$ мс. Дальнейшее изменение SD2 при изменении частоты дыхания носит менее выраженный характер: при ЧД= 6 дых/мин среднее значение SD2 составляет $140,77\pm 12,55$ мс, при ЧД=5,5 дых/мин – $125,59\pm 12,46$ мс, 5 дых/мин – $131,49\pm 14,44$ мс, 4,5 дых/мин – $137,03\pm 13,73$ мс. Эти данные свидетельствуют о том, что SD2 связан с дыхательной аритмией. Изменение формы графика Пуанкаре привело к существенному увеличению площади облака SS (ANOVA $\chi^2=19,12$, $p=0,002$); наименьшее среднее значение SS отмечается при свободном дыхании ($15801,17\pm 5805,64$ мс²), затем происходит резкое повышение SS при дыхании с заданной частотой 6,5 дых/мин – до $21649,45\pm 5840,44$ мс². Дальнейшее изменение частоты дыхания не привело к существенному сдвигу среднего значения SS: при ЧД=6 дых/мин средняя площадь облака на графике Пуанкаре составляет $25598,66\pm 5241,66$ мс², 5,5 дых/мин - $21491,61\pm 4875,93$ мс², 5 дых/мин - $23384,52\pm 5692,68$ мс², 4,5 дых/мин - $26911,84\pm 6863,36$ мс².

Дыхание с навязанной частотой оказывает чрезвычайно сильное влияние на комплексную корреляционную меру, о чем свидетельствуют результаты непараметрического анализа (ANOVA $\chi^2=38,61$; $p<0,001$). Переход со свободного дыхания на дыхание с частотой 6,5 дых/мин сопровождается сильным и статистически значимым снижением ККМ с $0,23\pm 0,02$ до $0,11\pm 0,007$. Различия между отдельными режимами навязанного дыхания недостоверны: ККМ при ЧД=6 дых/мин составила $0,12\pm 0,009$, 5,5 дых/мин – $0,12\pm 0,01$, 4,5 дых/мин – $0,13\pm 0,011$. Таким образом, нами впервые было обнаружено, что одним из механизмов формирования ККМ является дыхательная синусовая аритмия.

О перестройке в функционировании кардиореспираторной системы при изменении частоты дыхания также свидетельствует существенное изменение паттерна корреляции между традиционными показателями вариабельности сердечного ритма и нелинейными показателями, полученными в ходе анализа графика Пуанкаре. Так, при переходе на дыхание с заданным ритмом 6 дых/мин произошло существенное повышение выраженности корреляции ЧСС с SD1 (с -0,55 до -0,78), усилилась положительная связь между SD1 и SDNN (с 0,71 до 0,85). Наиболее выражено изменилась связь между SD1 и LF – с 0,6 до 0,9. Столь же выраженные сдвиги произошли и в аналогичном корреляционном паттерне для SD2, SS, SD1/SD2. Но наиболее выраженные изменения при переходе на дыхание с заданной частотой произошли в характере корреляционных связей между индексом Гузика GI и показателями вариабельности сердечного ритма, полученными путём анализа вариационного ряда и построения спектрограммы. Так, в состоянии покоя нами не была обнаружена достоверная корреляция между ЧСС и GI (0,04), а при дыхании с заданной частотой 6 дых/мин эта связь резко увеличилась до 0,52 ($p<0,05$). Представляет определённый интерес тот факт, что одновременно произошло резкое повышение корреляции между GI и LF/HF – с 0,09 до 0,55. Хотя

изменение корреляции между GI и LF было не столь выраженным (с $-0,51$ до $-0,59$), произошло существенное изменение коэффициента корреляции между GI и pLF – этот показатель увеличился с $0,09$ до $0,55$.

ККМ представляет собой инновационный показатель variability сердечного ритма, свойства которого ещё недостаточно изучены. Для данного показателя характерно резкое повышение корреляции с LF (с $-0,03$ до $0,61$) при переходе со свободного дыхания на дыхание с заданной частотой 6 дыханий в минуту. Кроме того, при свободном дыхании для ККМ была характерна выраженная положительная связь с HF ($0,75$; $p < 0,05$). Это подтверждает наш вывод о том, что ККМ тесно связана с дыхательной синусовой аритмией.

Результаты анализа изменений показателей variability сердечного ритма, происходящих при смене режима дыхания, а также результаты корреляционного анализа свидетельствуют о том, что дыхание с заданной частотой является особым функциональным состоянием.

Анализ индивидуальных изменений спектральной мощности волн с низкой частотой (LF) при переходе на дыхание с заданной частотой 6 дых/мин показал, что, хотя уровень этого показателя увеличился у всех испытуемых, степень этого увеличения была разной (рис 4).

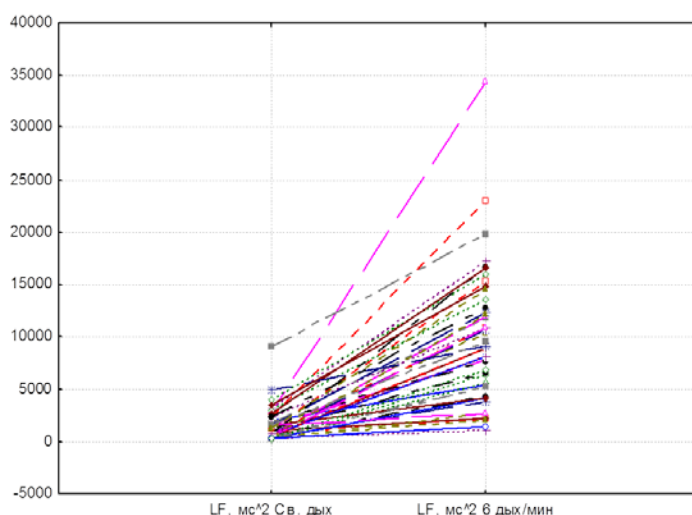


Рис. 4. Изменение индивидуальных значений LF при переходе от свободного дыхания к дыханию с заданной частотой 6 дых/мин.

Для объяснения этого различия мы обратились к концепции кардиореспираторного резонанса, которая утверждает, что при дыхании с определенной частотой происходит резкое повышение амплитуды колебаний интервалов RR. Это повышение связано с тем, что частота дыхательных движений совпадает с частотой колебаний активности собственного, не связанного с дыханием, контура регуляции активности пейсмекера синоатриального узла (Vaschillo E.G., 2007).

При анализе пиков на спектрограмме нами было обнаружено, что для амплитуды дыхательной волны характерны существенные

внутрииндивидуальные колебания с резким увеличением на определенной частоте, т.е. характерно явление резонанса (рис. 5).

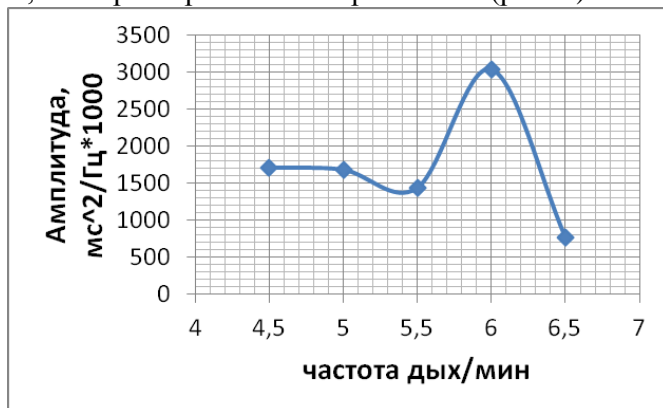


Рис. 5. Амплитуды дыхательных волн ВСП при различной частоте дыхания у одного из испытуемых.

На рис. 5 видно наличие выраженного пика амплитуды дыхательной волны ВСП при дыхании с частотой 6 дых/мин, что является проявлением кардиореспираторного резонанса (Vaschillo E.G., 2007). Резонансные характеристики ВСП, приведенные на рис. 5, наглядно показывают, что 1) когда принимающий участие в исследовании индивидиум дышит на резонансной частоте, или на частоте, близкой к таковой, выраженность дыхательной компоненты на спектре достигает своего максимума, 2) мощность этой респираторной компоненты значительно ниже при частоте дыхания, отличающейся от резонансной всего на 0,5 дых/мин, т.е. амплитуда дыхательных колебаний крайне чувствительна к изменению частоты дыхания. Хотя у значительной части испытуемых (40%) кардиореспираторный резонанс проявлялся именно на данной частоте, у 17,14% обследуемых резонанс имел место при дыхании с частотой 6,5 дых/мин, у 22,86% студентов резонанс возникал при дыхании с частотой 5 дых/мин. Резонанс в виде резкого увеличения амплитуды колебаний на дыхательной частоте у 14,29% студентов наблюдался при дыхании с частотой 5 дых/мин. У некоторых студентов (5,71%) резонанс возникал при дыхании с очень низкой частотой – 4,5 дых/мин.

Таким образом, для исследуемой группы характерна достаточно выраженная вариабельность значения частоты дыхания, на которой возникает резонанс между системой внешнего дыхания и сердечно-сосудистой системой.

Среднее значение резонансной частоты составило $5,7 \pm 0,1$ дых/мин. Проверка гипотезы о том, что данная частота статистически значимо отличается от 0,1 Гц (6 дых/мин) подтверждает наличие такого отличия (одновыборочный $t=2,97$; $p<0,01$). Нами было установлено, что одним из факторов, обуславливающих дисперсию резонансной частоты дыхания, является рост: была обнаружена статистически достоверная корреляционная связь между значением частоты дыхания, на которой отмечается резонанс, и длиной тела ($r=-0,42$; $p<0,05$), т.е. по мере увеличения роста значение резонансной частоты уменьшается. Более низкое значение резонансной частоты

у студентов с большей длиной тела согласуется с большим объемом крови и большим объемом сосудистого русла у таких людей (Langenberg C. et al, 2003).

В отечественной литературе SI широко используется для классификации уровня вегетативного баланса (Ноздрачев А.Д., Щербатых Ю.В., 2001). В то же время, в литературе не достаточно представлены данные об особенностях других показателей variability сердечного ритма, особенно показателей графика Пуанкаре, при различных соотношениях тонуса парасимпатического и симпатического отделов ВНС. Нами было обнаружено выраженное ($N=357,76$; $p<0,001$) снижение SDNN по мере повышение относительного тонуса симпатического отдела ВНС: при ваготонии среднее значение данного показателя составило $0,1\pm0,002$ с, при нормотонии – $0,06\pm0,001$ с, симпатикотонии - $0,04\pm0,001$ с, сверхсимпатикотонии - $0,02\pm0,001$ с. Аналогичным образом изменялся уровень респираторной синусовой аритмии ($N=279,42$; $p<0,001$): значение HF при ваготонии составило $4370,77\pm335,37$ мс^2 , а при сверхсимпатикотонией - $134,06\pm20,19$ мс^2 . Нами было проведено исследование графика Пуанкаре при различных типах вегетативной регуляции (рис. 6). Как видно из графиков, приведенных на рис. 6, форма облака на скатерограмме существенно зависит от вегетативного баланса.

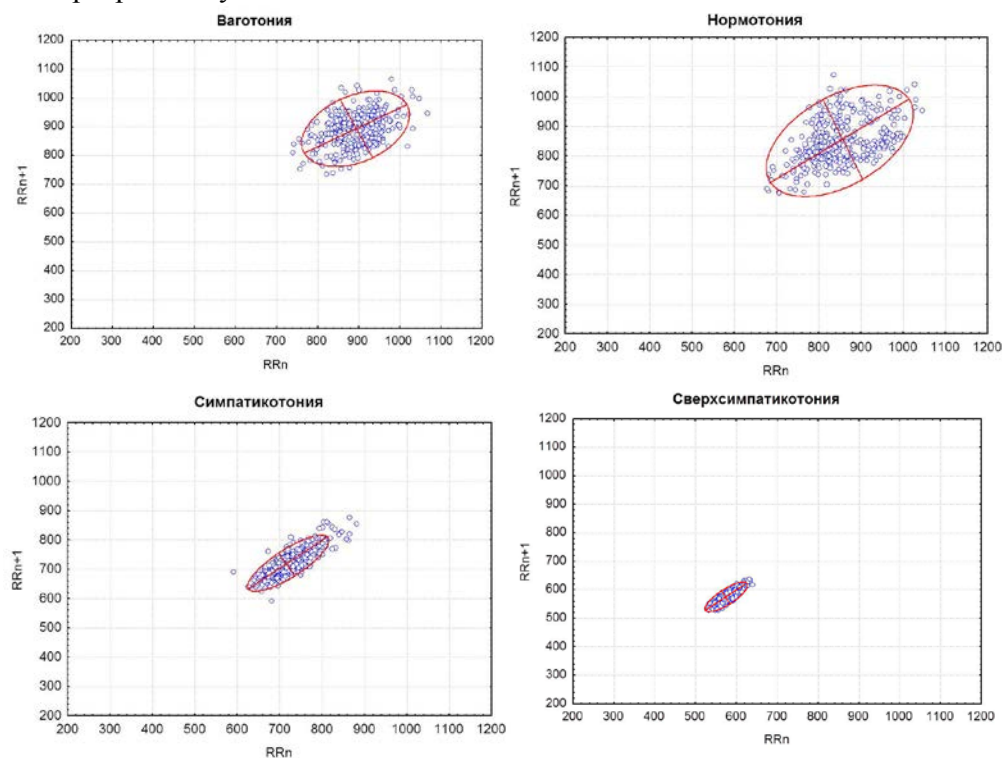


Рис.6. Примеры скатерограмм в МП при различных вариантах вегетативного баланса.

Результаты вычисления параметров графика Пуанкаре при различных типах вегетативного тонуса представлены в табл. 1.

Таблица 1

Средние значения показателей variability сердечного ритма графика Пуанкаре при различных типах вегетативной регуляции

Показатели BCP	Тонус ВНС				Н	Р
	I	II	III	IV		
SD1, мс	87,55±15,6	36,19±2,25	18,59±1,11	55,65±45,34	50,49	<0,001
SD2, мс	120,07±15,01	70,08±2,41	47,12±1,93	189,33±160,51	50,31	<0,001
SS, мс ²	40107,28±14187,43	8446,56±662,09	2842,21±261,67	1112±202,2	61,4	<0,001
SD1/SD2	0,7±0,05	0,52±0,03	0,4±0,02	0,35±0,03	25,4	<0,001
GI	0,43±0,05	0,48±0,01	0,49±0,01	0,48±0,02	2,2	>0,05
KKM	0,35±0,02	0,25±0,01	0,18±0,01	0,15±0,02	31,24	<0,001

Примечание: I – ваготония, II – нормотония, III – симпатикотония, IV – сверхсимпатикотония.

Как следует из табл. 1, наибольшая площадь облака на графике Пуанкаре имеет место при ваготонии; соответственно, в данном состоянии намного больше SD1, SD2, SD1/SD2. Обращает на себя внимание отсутствие существенных различий между значениями меры асимметрии графика Пуанкаре, зафиксированными при различных вариантах вегетативного тонуса. В отличие от этого, средние значения данного показателя достоверно KKM различались при разных характерах вегетативного тонуса: наибольшее среднее значение наблюдалось при ваготонии, а наименьшее – при сверхсимпатикотонии. При этом все парные контрасты были достоверными.

По результатам продольного исследования было установлено, что повышение уровня реактивной тревожности сопровождалось повышением частоты дыхания. Средняя частота дыхания в дни с низким уровнем реактивной тревожности составила 18,24±0,18 дых/мин, при среднем уровне тревожности частота дыхания выросла до 20,51±0,3 дых/мин; намного более часто испытуемые дышали при высокой тревожности - 27,7±0,87 дых/мин. Столь существенные различия обусловили высокое значение статистики Крускала-Уоллеса (H=51,23) и низкую значимость гипотезы об отсутствии различий между группами (p<0,001). Изменение уровня тревожности и частоты дыхания сопровождалось и изменением глубины дыхания, т.е. изменением дыхательного объема (H= 49,36; p<0,001); эти изменения носили нелинейный характер, т.е. по мере роста тревожности от низкого к среднему уровню дыхательный объем сперва увеличивался, а затем существенно снизился: при слабой тревожности дыхательный объем составлял 0,51±0,0086 л, в дни с умеренной тревожностью он увеличился до 0,61±0,012 л.; дальнейшее повышение уровня тревожности привело к снижению дыхательного объема до 0,49±0,05 л. Нелинейный характер изменения дыхательного объема также был зафиксирован в работе Van Diest I. и соавторов (2001). Повышение уровня тревожности

сопровождалось существенным изменением показателей, отражающих объемную скорость выдоха (табл. 2).

Таблица 2

Значение показателей объёмной скорости дыхания при различных уровнях тревожности

Параметр внешнего дыхания	Уровень тревожности			Н	Р
	низкий	умеренный	Высокий		
ОФВ-1, л	2,92±0,02	3,24±0,03	3,47±0,11	101,59	p<0,001
ПОС	6,53±0,05	6,69±0,06	7,73±0,15	28,45	p<0,001
МОС-25	5,69±0,04	5,65±0,06	6,80±0,12	23,90	p<0,001
МОС-50	4,18±0,04	4,49±0,04	5,29±0,11	44,62	p<0,001
МОС-75	2,28±0,04	2,47±0,05	3,16±0,12	27,52	p<0,001
СОС 25-75	3,77±0,04	4,08±0,05	4,97±0,13	48,15	p<0,001

Повышение уровня реактивной тревожности сопровождалось повышением ПОС, ОФВ1, МОС25, МОС50, МОС75, СОС25-75, что может свидетельствовать о снижении сопротивления дыхательных путей по мере повышения эмоционального напряжения; вкупе с данными об изменении ЧД и ДО это является проявлением влияния лимбической системы на функционирование стволовых центров регуляции жизненно важных функций организма (Bishop S.J., 2007).

В физиологии человека для выявления статистической связи между двумя функциональными показателями наиболее часто используют непараметрическую корреляцию по Спирмену (Cobelli С., 2008). Нами был проведен корреляционный анализ уровня тревожности и показателей внешнего дыхания с использованием данного критерия. Результаты этого анализа свидетельствуют о том, что уровень реактивной тревожности оказывает выраженное влияние на функционирование системы внешнего дыхания (табл. 3).

Таблица 3

Результаты корреляционного анализа реактивной тревожности (РТ) и показателей внешнего дыхания при продольном исследовании

Показатель	РТ	Р
ДО	-0,148093	>0,05
ЧД	0,581718	<0,05
ОФВ-1	0,534290	<0,05
ПОС	0,415927	<0,05
МОС-25	0,390974	<0,05
МОС-50	0,538147	<0,05
МОС-75	0,428572	<0,05
СОС 25-75	0,502328	<0,05

Полученные нами данные также свидетельствуют о том, что эмоциональный статус оказывает существенное влияние на показатели внешнего дыхания, за исключением ДО. Отсутствие статистически достоверной связи между РТ и ДО можно объяснить тем, что, как мы уже отмечали выше, изменение глубины дыхания при повышении реактивной тревожности носят нелинейный характер; это свидетельствует в пользу представлений о том, что метаболический запрос не является главным пусковым механизмом повышения частоты дыхания при сильных эмоциях (Masaoka Y., Homma I., 2001).

Тревожность оказывает большое влияние и на функциональное состояние системы кардиорегуляции, как то следует из результатов продольного исследования (табл. 4). По мере увеличения тревожности происходит повышение уровня ЧСС, снижение уровней статистических показателей вариабельности сердечного ритма и снижение респираторной синусовой аритмии. Так, отмечается снижение SDNN, RMSSD, pNN50, уменьшается общая спектральная мощность и амплитуда дыхательных колебаний на фоне отсутствия статистически значимых изменений VLF. Интересной особенностью полученных нами данных является небольшое и статистически недостоверное снижение мощности волн с низкой частотой (LF) по мере повышения уровня РТ; следствием этого является отсутствие достоверных изменений LF/HF.

Таблица 4

Значение показателей вариабельности сердечного ритма при различных уровнях тревожности

Показатель BCP.	Уровень тревожности			Н	Р
	низкий	умеренный	Высокий		
ЧСС, уд/мин	68,60±0,45	68,54±0,68	76,08±3,36	6,37	0,04
RR, с	0,89±0,01	0,89±0,01	0,80±0,03	6,27	0,04
SDNN, с	0,06±0,001	0,06±0,001	0,04±0,001	9,62	0,01
RMSSD, с	0,06±0,001	0,07±0,002	0,04±0,01	9,33	0,01
pNN50, с	36,76±0,97	40,02±1,64	21,67±5,32	10,12	0,01
TF, мс ²	4316,42±154,3	4799,42±253,29	2525,92±439,78	8,19	0,02
VLF, мс ²	1730,91±67,53	1825,51±103,86	1017,33±195,49	5,10	0,08
LF мс ²	1409,07±60,25	1572,19±119,58	777,25±135,02	4,05	0,13
HF мс ²	880,45±37,81	1051,29±59,55	551,50±130,73	10,628	0,00
LH/HF	2,18±0,10	1,78±0,09	3,00±0,74	4,11	0,13

Схема проведенного нами исследования позволяет изучить механизмы взаимодействия внутри кардиореспираторной системы, а также влияние эмоционального состояния на показатели вариабельности сердечного ритма и внешнего дыхания. Нами был проведен анализ связи между РТ и рHF на индивидуальном уровне. Результаты анализа представлены на рис. 7.

Как следует из рис. 7, у большинства студенток отмечается выраженная отрицательная связь между уровнем РТ и уровнем респираторной синусовой аритмии. В то же время, у одной студентки такая связь отсутствовала (№8; $r=0,05$; $p>0,05$), а у другой студентки имела место обратная связь (№7; $r=0,35$; $p<0,05$). Здесь необходимо отметить, что у этих двух студенток диапазон, в котором происходили колебания РТ, был ниже, чем у других испытуемых.

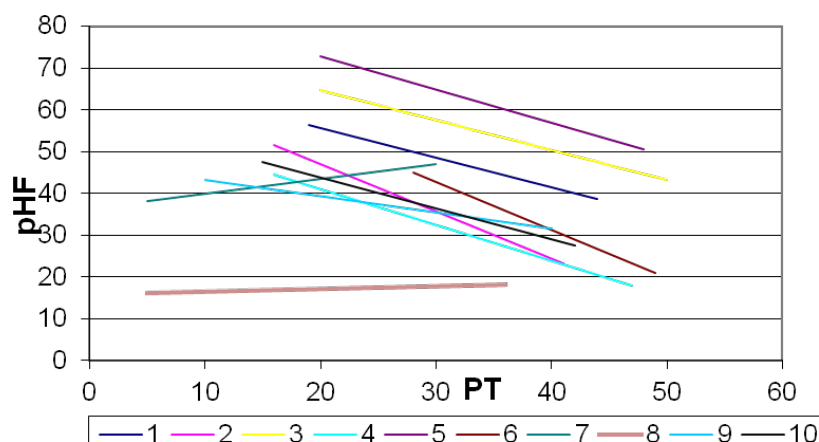


Рис. 7. Индивидуальные регрессионные прямые, отражающие связь между рНФ и РТ.

При анализе индивидуальных данных у большинства студенток нами была выявлена отрицательная корреляционная связь между уровнем респираторной синусовой аритмии и ПОС (табл. 5).

Таблица 5

Индивидуальные значения коэффициента корреляции по Спирмену между рНФ и ПОС

п/н	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R	-0,38	-0,28	-0,35	-0,32	-0,47	-0,33	0,024	0,001	-0,37	-0,74
P	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	>0,05	>0,05	<0,05	<0,05

Важной отличительной чертой полученных нами данных является то, что связь отсутствует у тех же самых студенток (№№ 7 и 8). Анализ данных показал, что у этих студенток имеет место наименьший диапазон колебаний уровня рНФ. Таким образом, нами впервые в ходе исследования здоровых людей были получены данные о влиянии РТ на уровень РСА, а также связь между РСА и ПОС; это является свидетельством того, что характер реакции кардиореспираторной системы на повышение РТ у здоровых людей отличается от таковой у людей, больных бронхиальной астмой и того, что тревожность, возникающая в реальной жизни, способствует повышению проводимости бронхиального дерева, и это обусловлено снижением парасимпатического тонуса. Полученные нами данные могут объяснить имеющееся в настоящее

время в научной литературе противоречие: согласно одним авторам (Watkins L.L. et al, 1998; Licht C.M. et al., 2009) повышение уровня тревожности сопровождается снижением PCA, а Jönsson P. (2007) утверждает, что такая связь отсутствует – результаты нашего исследования показывают, что эти противоречия могут быть объяснены индивидуальными особенностями индивидуумов, принимавших участие в этих исследованиях.

Таблица 6

Спирометрические показатели в межсессионный период и в период ожидания экзамена

	межсессионный период средняя±ошибка	ожидание экзамена средняя±ошибка	P
ДО (л)	0,58±0,03	0,596±0,028	>0,05
ЧД (в мин)	16,001±0,39	18,24±0,52	<0,001
МОД (л)	9,14±0,52	11,07±0,67	<0,01
ОФВ1 (л)	3,21±0,11	3,38±0,08	<0,01
ПОС (л/с)	7,46±0,19	7,63±0,199	<0,05
МОС25 (л/с)	6,49±0,16	6,66±0,19	>0,05
МОС50 (л/с)	5,05±0,13	5,23±0,16	<0,05
МОС75 (л/с)	3,05±0,12	3,23±0,13	>0,05

Поперечное исследование показало, что переход в состояние стресса реальной жизни, который сопровождался статистически достоверным повышением РТ с $24,47 \pm 0,63$ до $42,11 \pm 0,74$ ($z=10,57$; $p<0,001$), вызвал существенное повышение ЧД и показателей объёмной скорости выдоха (табл. 6).

Таким образом, в период ожидания экзамена произошло существенное повышение ЧД и большинства показателей объёмной скорости выдоха. Поскольку в ходе проведения продольного исследования нами было обнаружено, что между индивидами имеется различие в характере связи между РТ и параметрами функционирования кардиореспираторной системы и это различие связано с исходным уровнем РТ, то исследуемая группа была разделена на две подгруппы: с качественным повышением РТ (первая группа) и без такового (вторая группа). Во второй группе в период ожидания экзамена не было выявлено достоверных изменений параметров внешнего дыхания, в то время, как в первой группе произошло достоверное повышение ЧД (с $16,11 \pm 0,45$ дых/мин до $18,04 \pm 0,61$ дых/мин; $p<0,01$), повышение ОФВ1 (с $3,18 \pm 0,09$ л до $3,31 \pm 0,1$ л; $p<0,05$) и ПОС (с $6,75 \pm 0,25$ л/с до $7,31 \pm 0,25$ л/с; $p<0,001$); кроме того, произошло достоверное увеличение МОС25 (с $6 \pm 0,43$ л/с до $6,9 \pm 0,42$ л/с; $p<0,001$). Аналогичным образом изменились и спектральные показатели ВСР, связанные с респираторной синусовой аритмией (табл. 7). Из приведенных в табл. 7 данных можно заключить, что небольшое повышение уровня РТ не вызвало существенных изменений показателей вариабельности сердечного ритма, в том числе показателей PCA – HF и pHF. Напротив, в группе студентов с качественным повышением уровня РТ произошло

статистически значимое снижение HF и pHF и увеличение отношения LF/HF, что свидетельствует о снижении респираторной синусовой аритмии и уменьшении тонуса парасимпатического отдела ВНС. Стоит отметить, что в первой и второй группах студентов имело место небольшое, статистически недостоверное снижение уровня LF.

Таблица 7

Значение спектральных показателей variability сердечного ритма в межсессионный период (в состоянии покоя) и в условиях ожидания экзамена

	межсессионный период средняя±ошибка	ожидание экзамена средняя±ошибка	P
Отсутствие качественных изменений уровня тревожности			
LF	1470,82±334,5	1008,23±228,57	p>0,05
HF	1190,32±362	778,86±202,5	p>0,05
pHF	39,89±3,55	43,51±3,52	p>0,05
LF/HF	2,26±0,4	2,5±0,54	p>0,05
Качественное повышение уровня тревожности в период ожидания экзамена			
LF	1256,06±97,64	1120,44±104,82	p>0,05
HF	902,97±103,79	696,81±114,67	p<0,01
pHF	41,8±1,84	36,53±1,97	p<0,01
LF/HF	2,11±0,19	2,58±0,24	p<0,05

В период подготовки к экзамену также произошло существенное изменение распределения студентов по типам вегетативной регуляции, определенным с помощью стресс-индекса (SI). В межсессионный период у 14,5% студентов в межсессионный период уровень SI был равен или ниже 30 (ваготония), у 61,69% в межсессионный период имели SI в пределах 31-120 (нормотония), у 21,07% отмечалась симпатикотония и лишь у 2,68% - сверхсимпатикотония. Эмоциональное напряжение, связанное с ожиданием экзамена, привело к существенному повышению доли студентов со сверхсимпатикотонией (до 9,25%), с симпатикотонией – до 37,89%; одновременно произошло снижение относительного числа студентов с ваготонией до 5,75%, с нормотонией – до 47,14%. Все эти изменения носили достоверный характер ($\chi^2=24,2$; $p<0,001$).

Интересной особенностью наблюдаемых нами изменений показателей variability сердечного ритма при переходе от межсессионного периода к периоду ожидания экзамена является то, что наиболее выраженная реакция наблюдается именно в группе студентов с исходной ваготонией и нормотонией. Именно у исходных нормотоников произошло наибольшее снижение ЧСС (на $18,41\pm2,691$ уд/мин; у сверхсимпатикотоников - на $3,57\pm4,128$ уд/мин). Аналогичная картина наблюдается и в отношении SDNN (снижение на $0,04\pm0,005$ мс у ваготоников и слабое повышение у симпатикотоников $0,01\pm0,003$). У ваготоников в период ожидания экзамена происходит снижение HF ($-2222,43\pm368,29$), а у сверхсимпатикотоников – повышение ($65,57\pm29,52$). Все эти факты свидетельствуют о важности учёта исходного уровня

функционирования вегетативной нервной системы для получения правильной оценки изменений, происходящих во время или после воздействия исследуемого фактора.

Переход от относительно спокойного межсессионного периода к периоду ожидания экзамена также вызвало существенное изменение формы облака на графике Пуанкаре (рис. 8) и показателей variability сердечного ритма, вычисленных на основе этого графика (табл. 8).

Таблица 8

Показатели variability сердечного ритма, полученные в результате анализа скатерограмм

	МП	ОЭ	Z	P
SD1	$40,73 \pm 2,62$	$24,6 \pm 1,75$	7,07	$<0,001$
SD2	$72,97 \pm 2,81$	$60,47 \pm 2,59$	4,45	$<0,001$
SD1/SD2	$0,55 \pm 0,02$	$0,39 \pm 0,01$	6,57	$<0,001$
SS	$11020,53 \pm 1117,37$	$5699,86 \pm 720,29$	6,3	$<0,001$
GI	$0,48 \pm 0,01$	$0,44 \pm 0,01$	2,1	$<0,05$
CCM	$0,26 \pm 0,01$	$0,18 \pm 0,01$	6,57	$<0,001$

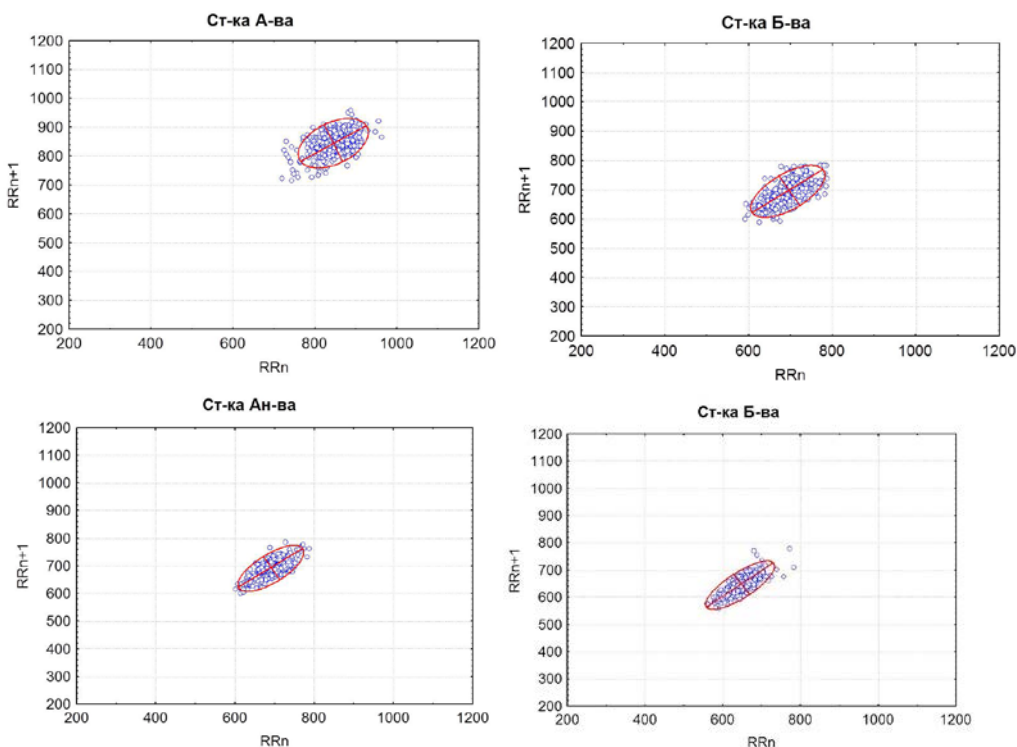


Рис. 8. Примеры скатерограмм в межсессионный период (верхний ряд) и в период ожидания экзамена.

Данные табл. 8 и рис. 8 свидетельствуют о том, что в период ожидания экзамена по сравнению с межсессионным периодом произошло существенное изменение размеров облака на графике Пуанкаре: отмечается снижение как расстояния от точек до линии идентичности (SD1), так и расстояния до перпендикуляра к этой линии (SD2). При этом уменьшение SD1 было более выраженным, чем уменьшение SD2, что отразилось на форме облака – оно не только уменьшилось, но и приобрело более вытянутую форму, что проявилось в уменьшении отношения SD1/SD2. Кроме того, произошло существенное снижение ККМ и коэффициента Гузика GI. Наблюдаемое изменение формы графика Пуанкаре можно интерпретировать как снижение тонуса парасимпатического отдела ВНС (Brennan M., 2001).

Связанное с ожиданием экзамена повышение РТ вызвало существенное повышение уровня артериального давления и ВИК (табл. 9). Данные табл. 9. свидетельствуют о том, что в период ожидания экзамена уровень артериального давления и ВИК был достоверно выше, чем в межсессионный период; особенно сильно увеличился средний уровень вегетативного индекса Кердо, а менее всего – уровень систолического давления. В период ожидания экзамена произошло существенное повышение доли студентов с ВИК>0: с 18,42% до 53,5% ($\chi^2=13,75$; $p<0,001$).

Таблица 9

Средние значения показателей артериального давления и вегетативного индекса Кердо (ВИК) в межсессионный период (МП) и в период ожидания экзамена (ОЭ)

	МП	ОЭ	Z	P
САД	111,87±0,48	115,88±0,6	1,85	<0,05
ДАД	72,49±0,33	75,54±0,48	3,71	<0,001
ВИК	0,64±0,71	9,96±0,8	8,59	<0,001

Ярким проявлением целостности кардиореспираторной системы является выраженная корреляция между артериальным давлением, ЧСС и вычисляемым на их основе ВИК, с одной стороны, и показателями variability сердечного ритма, с другой. Важной отличительной чертой этой связи является то, что она меняется в период ОЭ. Так, корреляция между интегральным показателем ВИК и спектральными показателями существенно выросла в период экзамена: корреляция с TF выросла с -0,27 до -0,48, с HF - с -0,15 до -0,38, с LF – с -0,25 до -0,41. Эти данные указывают на то, что функциональные связи, участвующие в формировании variability сердечного ритма, изменяются под влиянием ростральных центров головного мозга, участвующих в эмоциональной оценке событий.

Характер изменения показателей функционирования кардиореспираторной системы и РТ в период ожидания экзамена (эРТ) зависит

от нескольких факторов. Не экзаменационный уровень реактивной тревожности влияет уровень личностной тревожности: РТ при низком ЛТ составляет $37,39 \pm 0,83$, при умеренном ЛТ - $40,52 \pm 0,22$, а при высоком ЛТ - $43,61 \pm 0,32$ ($N=46,37$; $p < 0,001$). Исходя из поливагусной теории Порджеса мы предположили, что исходное состояние парасимпатического отдела ВНС может являться предиктором РТ в период экзамена; наше предположение подтвердилось: была выявлена умеренная, но статистически достоверная отрицательная корреляция между исходным HF и эРТ ($r = -0,16$; $p < 0,05$). В данном контексте интересной особенностью является то, что HF не связана с ЛТ ($r = -0,06$; $p > 0,05$), что не позволяет свести данную связь к медиации личностной тревожностью.

В ходе сравнительного анализа исходных данных и данных, полученных в период ожидания экзамена, нами был выявлен эффект регрессии к среднему: чем выше исходное значение показателя, тем меньше изменение его значения при воздействии исследуемого фактора. Так, была обнаружена отрицательная регрессионная связь между абсолютным значением увеличения HF (DIN HF) и натуральным логарифмом исходного уровня данного показателя (LnHF): $DIN HF = 2,696 - 0,488 LnHF$ ($F = 69,58$; $p < 0,001$). Продольное исследование позволило нам определить индивидуальное среднее и понять, как отклонение от этого значения в межсессионный период может повлиять на показатели функционирования кардиореспираторной системы в период ожидания экзамена. В качестве примера рассмотрим индивидуальную динамику РСА в случае, если исходный уровень показателя превышает истинное среднее значение (рис. 9).

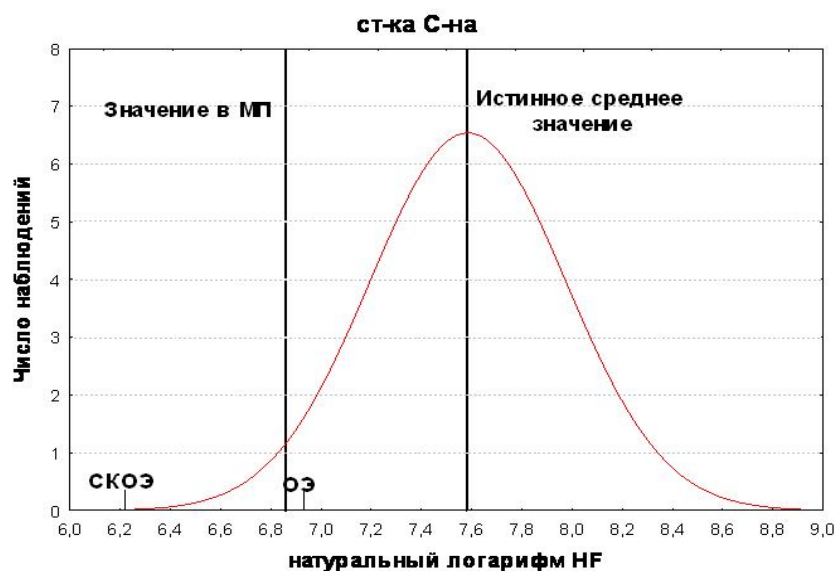


Рис. 9. Графический пример истинного среднего и регрессии к среднему для HF.

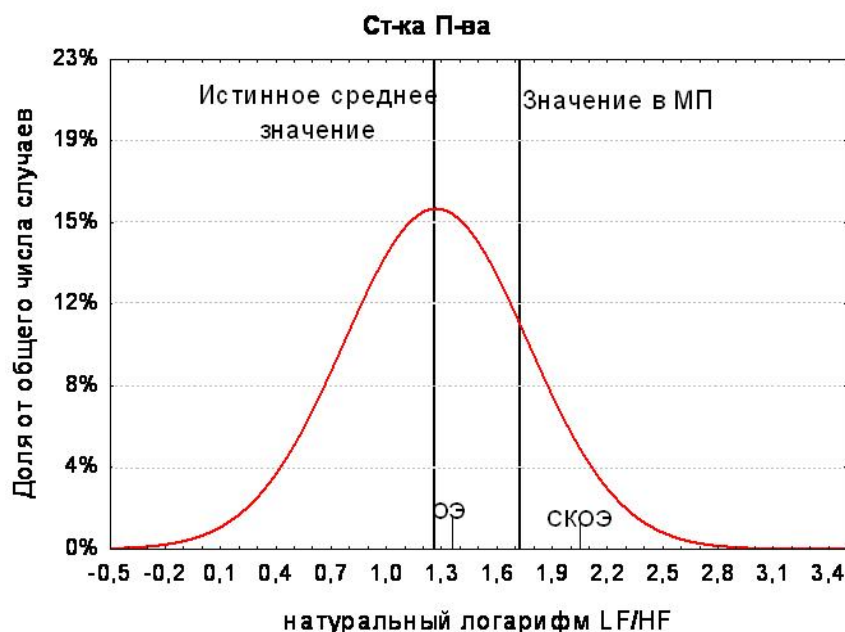


Рис. 10. Графический пример истинного среднего и регрессии к среднему для LF/HF.

Как видно из рис. 9, значение $\ln HF$ в межсессионный период (МП) было значительно меньше индивидуального среднего, что привело к тому, что возникла иллюзия повышения респираторной синусовой аритмии, т.е. повышение тонуса парасимпатического отдела ВНС, в период ожидания экзамена.

Рассмотрим обратную ситуацию на примере отношения LF/HF (рис. 10). Как видно из диаграммы, при исходном значении данного показателя выше истинного среднего значения, при повторном измерении мы получаем парадокс: при стрессе отмечается снижение относительного тонуса симпатического отдела ВНС – и это у студентки с высоким уровнем реактивной тревожности в период ожидания экзамена. После коррекции произошло существенное повышение значения данного показателя.

Таким образом, мы получили данные, свидетельствующие о том, что исходный уровень показателя может оказывать существенное влияние на его изменение в результате реакции на изучаемое воздействие. Однако это явление не является физиологическим парадоксом, как это может показаться на первый взгляд, а является лишь проявлением статистического феномена, который получил название «регрессия к среднему». Учет этого феномена позволит существенно снизить систематическую ошибку наблюдения и избежать как ложно положительных, так и ложно отрицательных реакций, а также может

послужить основой для дальнейшего исследования проблемы исходного уровня в физиологических исследованиях.

В физиологии человека традиционно одним из ведущих факторов, влияющих на функциональное состояние организма человека, является пол. В ходе проведённого нами анализа различий изучаемых физиологических показателей в МП и в ОЭ в зависимости от пола нами было обнаружено, что уровень личностной тревожности у мужчин ($38,74 \pm 1,26$; 95% Д.И.: 36,17 – 41,3) был достоверно ниже, чем у женщин ($44,39 \pm 0,66$; 95% Д.И.: 43,07 – 45,7; $H=14,27$; $p<0,01$), что соответствует многочисленным литературным данным (Costa et al. 2001). Соответственно, отмечалась и существенная разница в распределении ЛТ между полами ($\chi^2=10,27$; $p<0,01$): у 44,7% женщин отмечался высокий уровень ЛТ, в то время как у мужчин этот показатель составлял 18,42%. В МП средний уровень РТ у мужчин ($18,67 \pm 1,48$) был достоверно выше, чем у женщин ($23,73 \pm 1,2$; $H=4,44$; $p<0,05$). Для экзаменационных значений РТ (РТЭ) также характерно выраженное различие между полами: у мужчин среднее значение РТЭ составило $31,82 \pm 2,02$ (95% Д.И. 31,82 – 40,10), а у женщин – $41,57 \pm 0,78$ (95% Д.И. 41,57 – 44,65; $H=9,13$; $p<0,01$). В МП уровень ЧСС у мужчин был ниже, чем у женщин ($69,13 \pm 0,89$ уд/мин против $73,83 \pm 0,5$ уд/мин; $z=3,8$; $p<0,01$); соответственно, у мужчин был выше уровень SDNN ($0,066 \pm 0,002$ с против $0,059 \pm 0,001$ с; $z=3,8$; $p<0,01$). Ещё более выраженными были различия между мужчинами и женщинами по уровню SI: в МП среднее значение стресс-индекса у мужчин составило $74,00 \pm 5,83$, а у женщин – $97,82 \pm 4,16$ ($z=3,17$; $p<0,01$). Различие в среднем значении сопровождалось и различием в распределении (табл. 10).

Таблица 10

Доли мужчин и женщин с разным тоном вегетативной нервной системы в межсессионный период

	Тонус ВНС			
	Ваготония	нормотония	симпатикотония	сверхсимпатикотония
Мужчины	21,62%	63,96%	13,51%	0,90%
Женщины	12,65%	61,07%	23,11%	3,16%

Из данных табл. 10 следует, что среди мужчин намного больше индивидуумов с ваготонией и намного меньше – с симпатикотонией и сверхсимпатикотонией; соответственно, не было выявлено различий между полами по доле лиц с нормотонией. Статистический анализ показал, что представленное в таблице различие между полами является достоверным ($\chi^2=10,47$; $p<0,05$). В то же время, нами не было выявлено достоверного различия между полами по спектральным показателям вариабельности сердечного ритма.

Таблица 11

Скорректированные с учетом регрессии к среднему значения показателей variability сердечного ритма и ЧСС в период ожидания экзамена у мужчин и женщин

Показатели ВСП	Мужчины	Женщины	Z	P
CORR ln ЧСС	4,39±0,009	4,41±0,005	1,56	p>0,05
CORR Ln M	-0,3±0,009	-0,32±0,005	-1,58	p>0,05
CORR Ln SDNN	-2,99±0,02	-3,09±0,01	-3,15	p<0,01
CORR Ln RMSSD	-3,33±0,04	-3,36±0,02	-1,59	p>0,05
CORR Ln pNN50	2,54±0,06	2,27±0,05	-1,81	p>0,05
CORR Ln Mo	-0,3±0,009	-0,31±0,004	-1,50	p>0,05
CORR Ln MXDMn	-1,21±0,02	-1,28±0,01	-3,41	p<0,01
CORR Ln AMo	3,73±0,016	3,77±0,009	1,99	p>0,05
CORR Ln ПАПР	4,02±0,02	4,08±0,01	2,16	p<0,05
CORR Ln ВПР	1,5±0,02	1,59±0,01	3,05	p<0,01
CORR Ln SI	4,52±0,04	4,67±0,02	2,85	p<0,01
CORR Ln TF	7,98±0,17	7,71±0,07	-3,30	p<0,01
CORR Ln VLF	7,05±0,05	6,9±0,02	-2,91	p<0,01
CORR Ln LF	6,98±0,06	6,75±0,02	-3,14	p<0,01
CORR Ln HF	6,25±0,08	5,99±0,04	-2,74	p<0,01
CORR Ln LF/HF	0,77±0,05	0,76±0,02	-0,18	p>0,05
CORR Ln pLF	4,11±0,03	4,1±0,01	-0,22	p>0,05
CORR Ln pHF	3,44±0,03	3,44±0,01	0,34	p>0,05

Поскольку мы обнаружили, что гипотеза о наличии регрессии к среднему у показателей ВСП является статистически достоверной, то мы провели сравнительный гендерный анализ значений этих показателей, скорректированных по РКС (CORR); для нормализации переменных нами было поведено логарифмирование. Результаты анализа позволяют прийти к выводу о том, в период ОЭ уровень респираторной синусовой аритмии и ряда других показателей variability сердечного ритма был выше у мужчин, чем у женщин (табл. 11).

Кроме того, нами были получены данные, свидетельствующие о том, что у мужчин в межсессионный период преобладают отрицательные значения индекса Кердо (75%), а у женщин – положительные значения этого индекса (58%) ($\chi^2=24,06$; $p<0,01$). В период ОЭ средние значения ВИК повысились в обеих половых группах, но наиболее выраженным это повышение было у женщин (11,82±0,97 против 9,75±3,07 у мужчин). Таким образом, из всего вышесказанного можно сделать вывод о том, вегетативная система у женщин является более реактивной, чем у мужчин; это свидетельствует в пользу концепции более выраженного снижения РСА у женщин при стрессе реальной жизни (Li Z. et al., 2009). Возможно, что это различие отчасти объясняется физиологическими особенностями женского организма, связанными с репродуктивной функцией: проведенные нами исследования спектральных показателей variability сердечного ритма в различные фазы

менструального цикла подтверждают это предположение (табл. 12). Как следует из приведенных в табл. 12 данных, для лютеиновой фазы менструально-овариального цикла характерна достоверно меньшая выраженность респираторной синусовой аритмии (HF), чем в другие фазы цикла – в фолликулиновую ($z'=2,46$; $p<0,05$) и менструальную ($z'=2,52$; $p<0,01$).

Таблица 12

Средние значения спектральных показателей variability сердечного ритма в фолликулиновую, лютеиновую фазу и в период менструации

	фазы менструально-овариального цикла			H	p
	I	II	III		
TF	4397,31±309,93	3572,98±233,49	4649±380,43	5,46	>0,05
VLF	1599,89±112,49	1650,4±137,91	1852,17±169,4	2,14	>0,05
LF	1524,66±145,17	981,85±66,64	1498,19±154,51	6,37	<0,05
HF	997,42±83,36	655,56±46,64	997,3±97,32	8,56	<0,05
LF/HF	1,85±0,13	2,12±0,19	1,9±0,17	0,1	>0,05
pLF	58,31±1,54	60,15±1,51	59,53±1,89	0,12	>0,05
pHF	41,69±1,54	39,85±1,51	40,47±1,89	0,12	>0,05
	I- фолликулиновая II - лютеиновая III - менструация				

Другим важным индивидуальным показателем является ИМТ. Среди обследованных нами студентов большинство (83,26%) имели нормальный уровень ИМТ, у 11,29% ИМТ был снижен, а у 6,4% - повышен. Анализ влияния ИМТ на variability сердечного ритма не выявил достоверных различий между группами студентов с качественно различающимся соотношением массы и длины тела, а также не было выявлено корреляции между ИМТ и показателями ВСР. В период ожидания экзамена картина была иной: наибольшее среднее значение ЧСС отмечается в группе студентов с низким ИМТ ($90,80\pm3,08$ уд/мин), а наименьшее – у студентов с повышенным ИМТ ($78,09\pm3,47$ уд/мин) (статистика Краскела-Уоллеса ($H=7,72$; $p<0,05$)). Эти группы также различались по уровню TF (повышенный ИМТ - $5282,60\pm1016,26$ мс²; низкий ИМТ - $2208,05\pm574,36$ мс²; $H=8,25$; $p<0,05$). Наличие существенного контраста по TF между группами студентов с разным ИМТ сопровождалось ещё более выраженным различием между этими группами по VLF (повышенный ИМТ - $1975,27\pm457,72$ мс²; низкий ИМТ - $689,07\pm145,47$ мс²; $H=10,58$; $p<0,05$). В ходе анализа средних значений LF нами было установлено, что этот показатель достигает минимального значения в группе студентов с низким ИМТ ($581,22\pm90,16$ мс²), а максимальное значение характерно для группы студентов с повышенным ИМТ ($1660,55\pm297,89$ мс²). Данная тенденция характеризуется высокой степенью статистической достоверности ($H=14,38$; $p<0,01$). В ходе корреляционного анализа было установлено, что в период ожидания экзамена имеется достоверная положительная связь между ИМТ и VLF ($R=0,17$; $p<0,05$), ИМТ и LF/HF ($R=0,16$; $p<0,05$), ИМТ и pLF ($R=0,18$; $p<0,05$), ИМТ и pHF ($R=-0,18$; $p<0,05$).

Для всех групп студентов с различным ИМТ было характерно повышение в период ожидания экзамена по сравнению с межсессионным периодом (табл. 13).

Таблица 13

Уровни реактивной тревожности в межсессионный период (РТ) и в период ожидания экзамена (РТ(Э)) в группах студентов с различным качественным значением ИМТ

Группа ИМТ	РТ	РТ(Э)	Z	P
ИМТ низкий	26,69±1,87	42,46±2,4	3,1	<0,01
ИМТ нормальный	24,9±0,87	42,21±0,97	8,45	<0,01
ИМТ повышенный	21,82±2,66	41,4±3,23	2,8	<0,01

При этом наибольшее значение экзаменационной РТ отмечается в группе студентов с низким ИМТ, а наименьшее – с повышенным ИМТ. В период ожидания экзамена наиболее выраженное снижение респираторной синусовой аритмии отмечалось в группе студентов с низким ИМТ ($-645,23 \pm 393,152$; $z=2,24$; $p<0,05$), а наименее выраженные – в группе студентов с повышенным ИМТ ($-72,10 \pm 253,78$ мс²; $z=0,53$; $p>0,05$). Таким образом, нами было показано, что повышенное значение ИМТ связано с уменьшением степени ответной реакции со стороны вегетативной нервной системы на воздействие эмоционально значимого стимула.

Любая система, в том числе и ВНС, имеет структурные и функциональные черты, связанные с особенностями протекания ранних этапов онтогенеза, среди которых наиболее значимым является внутриутробный период, важнейшим индикатором протекания которого является масса тела при рождении (МТР). В ходе анализа корреляционных связей между МТР и вариабельностью сердечного ритма в межсессионный период не было выявлено достоверных связей между физиологическими показателями и массой тела при рождении. Тем не менее, стоит отметить, что нами выявлена слабая отрицательная корреляционная связь между ЧСС и МТР ($r=-0,1$), а также слабые положительные корреляционные связи МТР с показатели вариабельности сердечного ритма – SDNN ($r=0,03$), HF ($r=0,03$), а также отрицательная корреляционная связь с SI ($r=-0,1$).

Анализ корреляционных связей между показателями вариабельности сердечного ритма в период ожидания экзамена показал, что имеется достоверная отрицательная корреляция между уровнем МТР и ВПР ($r=-0,18$; $p<0,05$), между уровнем МТР и SI ($r=-0,17$; $p<0,05$). Отсюда следует, что по мере увеличения массы тела при рождении уменьшается напряжение адаптационных механизмов во время ожидания экзамена. Выраженность изменений РСА в период ОЭ по сравнению с МП была намного большей в группе студентов с МТР < 2500 грамм, чем у студентов с МТР 3000 – 3299 грамм ($N=6,18$; $p<0,05$) (рис.11). Полученные нами данные свидетельствуют о том, что негативное влияние факторов внешней и внутренней среды на системы «мать-плод» сказывается на функционировании механизмов адаптации организма в более поздние периоды онтогенеза; это является еще одним подтверждением

справедливости гипотезы внутриутробного программирования (Barker, D.J.P., 2007).

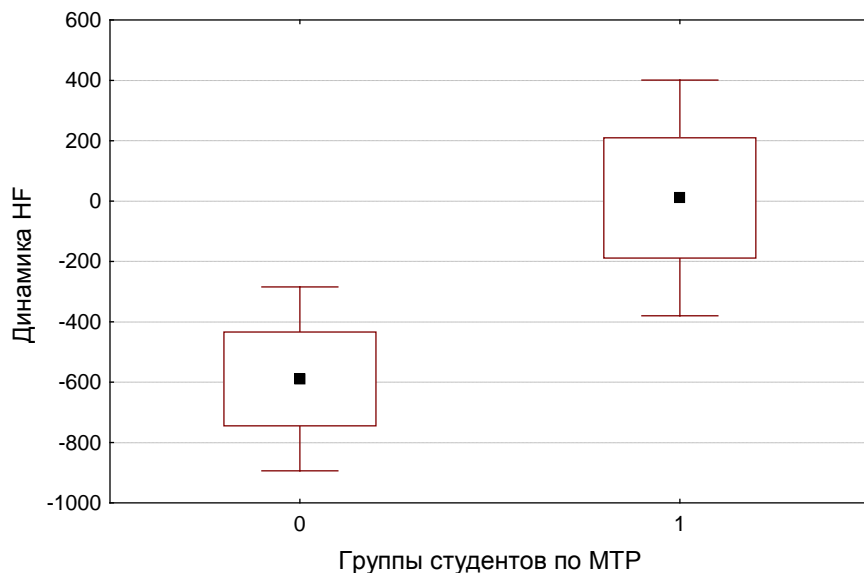


Рис. 11. Динамика HF (экзамен – межсессионный период) у студентов с МТР ниже 3000 грамм (0) и студентов с МТР в диапазоне 3000 - 3299 грамм (1).

В период ОЭ произошло значительное изменение вегетативного баланса: доля студентов с ваготонией снизилась с 14,5% до 5,75%, также произошло снижение числа студентов с нормотонией (с 61,69% до 47,35%). Соответственно, произошло существенное повышение доли студентов с симпатикотонией (с 21,07% до 38,05%) и сверхсимпатикотонией (с 2,68% до 8,85%); эти изменения были достоверны ($\chi^2=38,37$; $p<0,001$). При этом характер изменения параметров ВСР зависел от того, насколько сильно изменился вегетативный баланс; так у стабильных студентов (отсутствие качественного сдвига вегетативного баланса в сторону симпатического тонуса) изменение РСА в период ОЭ в среднем составило $-250,92 \pm 90,66$ мс², а у реактивных студентов (наличие такового сдвига) $-969,76 \pm 121,15$ мс² ($H=48,03$; $p<0,001$).

Несмотря на то, что уровень шума, который использовался в качестве стимула в нашем исследовании, был невелик (60 дБ(А)), нами были обнаружены существенное снижение уровня РСА: среднее значение HF перед воздействием составило $11170,17 \pm 275,97$ мс², а в период шумового воздействия $-810,94 \pm 192,71$ ($z=2,1$; $p<0,05$). Одновременно с этим произошло существенное изменение формы графика Пуанкаре (рис. 12).

Как видно из рис. 12, при воздействии шума произошло сужение облака (среднее значение SD1 уменьшилось с $31,73 \pm 5,76$ мс² до $25,69 \pm 3,54$ мс² ($z=2,59$; $p<0,01$). Воздействие шума сопровождалось значительным снижением среднего значения ККМ – с $0,33 \pm 0,02$ до $0,28 \pm 0,02$ ($z=2,67$; $p<0,01$).

А

Б

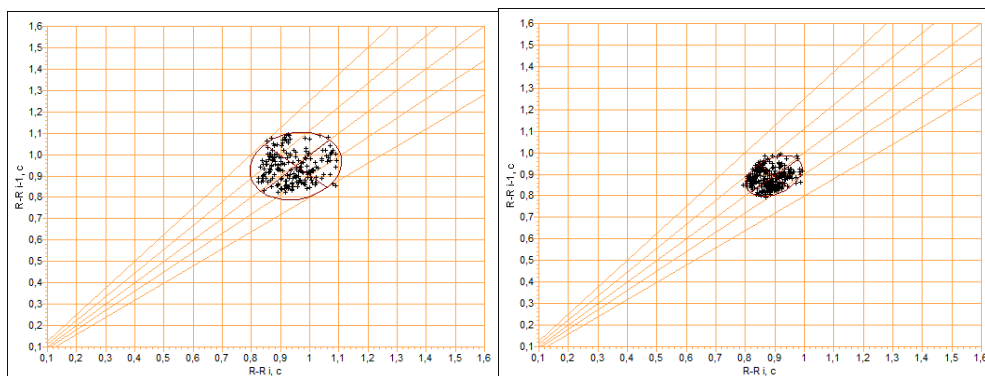


Рис. 12. Примеры скатерограмм, полученных до воздействия шума (А) и в период воздействия шума (Б).

Результаты проведенного нами исследования показали, что процесс обучения в вузе и связанная с ним социализация студента оказывает существенное влияние на характер функционирования вегетативной нервной системы: на первом году обучения, когда происходит активная адаптация студента к обучению в вузе, у значительного числа студентов (24,64%) отмечается преобладание симпатического тонуса, а у 3,62% даже имеет место сверхсимпатикотония. Ко второму курсу доля симпатикотоников снижается до 6,06%, а сверхсимпатикотоников – до 3,03%. Окончание обучения в вузе, сопряженное с поиском рабочего места и выбором дальнейшего пути социального развития, сопровождается появлением студентов с запредельным тонусом симпатической нервной системы (2,94%), максимальным относительным числом студентов со сверхсимпатикотонией (5,88%) и большим числом студентов с умеренным преобладанием симпатического тонуса (26,47%). Эти данные согласуются с паттерном динамики РСА (рис. 13).

На рис. 12 отчетливо выражено увеличение дыхательной аритмии на втором курсе по сравнению с первым (с $2119,32 \pm 228,75 \text{ мс}^2$ до $2519,48 \pm 391,89 \text{ мс}^2$). Затем происходит резкое падение уровня дыхательной аритмии: на третьем курсе среднее значение HF составило $1522,46 \pm 344,18 \text{ мс}^2$, на четвертом оно снизилось до $1421,46 \pm 131,86 \text{ мс}^2$, а на пятом достигло минимума - $1086,88 \pm 167,17 \text{ мс}^2$. Динамика была чрезвычайно выраженной и достоверной со статической точки зрения: $F=4,36$ ($p<0,01$). При этом отмечалось выраженное различие между первым и четвертым курсами ($p<0,05$), между первым и пятым курсами ($p<0,05$), между вторым и четвертым ($p<0,05$), вторым и пятым курсами ($p<0,05$).

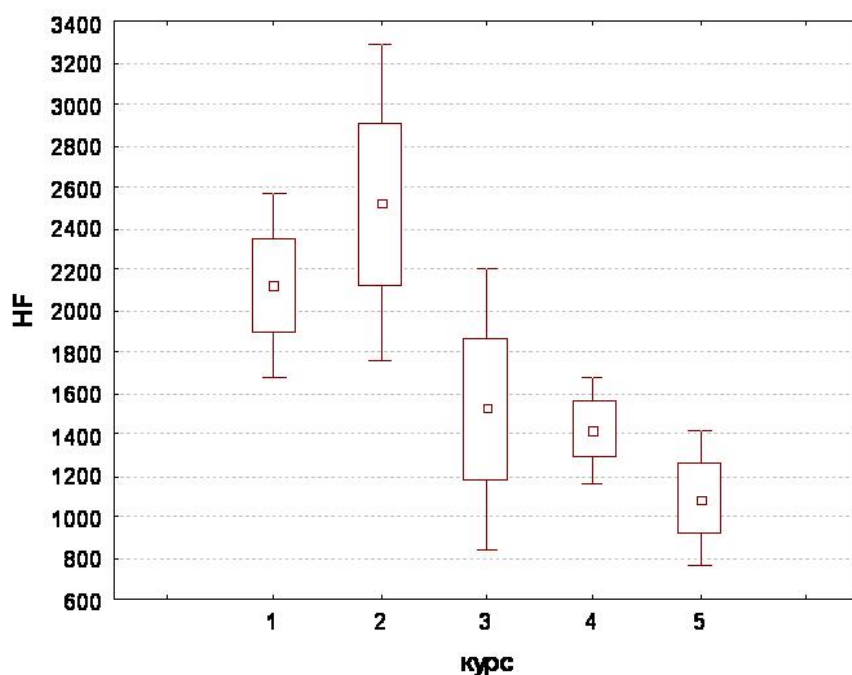


Рис.13. Динамика средних значений HF в межсессионный период.

В результате проведённых исследований нами были выявлены закономерности изменений респираторной синусовой аритмии при различных режимах дыхания, был обнаружен кардиореспираторный резонанс и выявлена связь между размерами тела и значением частотой дыхания, на которой отмечается пиковый значение амплитуды дыхательных колебаний продолжительности кардиоинтервалов. Была выявлена закономерность изменения параметров облака на графике Пуанкаре при различных режимах дыхания, а также при различном вегетативном балансе. Обнаружены особенности респираторной синусовой аритмии как индикатора кардиореспираторного взаимодействия при различном уровне реактивной тревожности и предикторное значение RSA по отношению к психологической реактивности. Было проведено исследование взаимодействия внутри кардиореспираторной системы на индивидуальном уровне, в ходе которого выявлены связи между тонусом парасимпатического отдела ВНС и параметрами объемной скорости выдоха.

В ходе исследования нами также было обнаружено выраженное влияние ряда эндогенных и экзогенных факторов на вариабельность сердечного ритма и, особенно, на респираторную синусовую аритмию. К числу этих факторов относится пол, индекс массы тела, размеры тела при рождении, а также курс, на котором обучается студент. Было выявлено снижение уровня респираторной синусовой аритмии у лиц с повышенной шумовой чувствительностью при воздействии транспортного шума низкой интенсивности

Выводы

1. Изменение частоты дыхания приводит к изменению характера регуляции сердечного ритма, что проявляется в появлении пика на дыхательной частоте, изменению паттерна корреляций между показателями вариабельности сердечного ритма и изменению графика Пуанкаре.

2. Величина дыхательного пика зависит от частоты дыхания: наибольшая амплитуда колебаний на дыхательной частоте отмечается при дыхании с частотой, соответствующей частоте кардиореспираторного резонанса. Значение частоты резонанса, в свою очередь, характеризуется значительной межиндивидуальной вариабельностью, которую частично можно объяснить особенностями гемодинамики, обусловленными размерами тела.

3. Переход на дыхание с заданной частотой сопровождается увеличением длины облака на графике Пуанкаре и снижением его асимметрии. Одновременно происходит выраженное снижение комплексной корреляционной меры, что, в сочетании с выраженной корреляцией данного показателя с HF позволяет предположить, что ККМ прежде всего отражает вариабельность сердечного ритма, связанную с дыханием.

4. Хотя по мере увеличения реактивной тревожности снижается уровень респираторной синусовой аритмии, эта связь может отсутствовать или даже смениться на противоположную в том случае, если колебания РТ происходят в диапазоне низких значений.

5. Результаты нашего исследования указывают на то, что изменения в функционировании кардиореспираторной системы, сопровождающие повышение уровня реактивной тревожности, в большей степени связаны с изменением тонуса парасимпатического отдела ВНС.

6. Уровень респираторной синусовой аритмии в состоянии покоя можно рассматривать как важную индивидуальную особенность, которая имеет большое значение для психологической реактивности организма.

7. Значительная внутрииндивидуальная вариабельность кардиоритмографических показателей является источником систематической ошибки наблюдения, проявлением которой является регрессия к среднему. Учёт этого феномена позволит снизить уровень этой ошибки и получить валидные и воспроизводимые результаты.

8. Стресс реальной жизни сопровождается выраженным сдвигом вегетативного баланса в сторону увеличения симпатического тонуса; при этом характер изменения вегетативного тонуса зависит от исходного состояния.

9. Стволовые центры регуляции функционирования кардиореспираторной системы связаны с высшими центрами обработки сенсорной информации, в том числе с теми из них, которые участвуют в формировании эмоциональной реакции на звуковое воздействие; об этом свидетельствует изменение респираторной синусовой аритмии и формы графика Пуанкаре.

10. Выраженность изменений функционирования кардиореспираторной системы в период стресса реальной жизни снижается по мере повышения

индекса массы тела, что указывает на то, что сниженная реакция на стрессогенный фактор является одной из черт комплекса функциональных особенностей организма, предрасполагающих к ожирению, на что также указывает менее выраженная личностная тревожность у лиц с повышенным уровнем индекса массы тела.

11. Обнаружена связь между размерами тела при рождении и реактивностью кардиореспираторной системы, что свидетельствует о значимости внутриутробного программирования для функционирования регуляторных структур ствола мозга.

12. Как в межсессионный период, так и в период ожидания экзамена уровень вариабельности сердечного ритма выше у мужчин, чем у женщин.

13. Полученные нами данные свидетельствуют о том, что на уровень респираторной синусовой аритмии и на напряжение механизмов адаптации большое влияние оказывают социальные факторы, связанные с процессом обучения на конкретном курсе и с процессами социализации студента.

14. Изучение физиологической сущности параметров графика Пуанкаре показало, что форма и площадь облака, а также внутренняя его структура, оценённая посредством вычисления комплексной корреляционной меры, значительно меняются при изменении функционирования организма – при переходе на заданный режим дыхания, при изменении уровня тревожности.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых журналах (▲) и изданиях согласно перечню ВАК России

1. Димитриев, Д.А. Изучение параметров сердечного ритма у студентов при экзаменационном стресс / Д.А. Димитриев, Саперова Е.В., Карпенко Ю.Д., Димитриев А.Д. // **Вестник Томского государственного университета. Приложение: Материалы международных, всероссийских, региональных научных конференций, семинаров, школ, проводимых в ТГУ. - 2006. - № 21. - С.43-44.**
2. Димитриев, Д.А. Особенности функционирования сердечно-сосудистой системы в разные фазы менструального цикла/ Д.А. Димитриев, А.Д. Димитриев, Ю.Д. Карпенко, Е.В. Сапёрова Е.В.// **Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. -2007.-№3.-С. 67-74. ▲**
3. Димитриев, Д. А. Влияние экзаменационного стресса и психоэмоциональных особенностей на уровень артериального давления и регуляцию сердечного ритма у студенток / Д. А. Димитриев, А.Д. Димитриев, Ю.Д. Карпенко, Е.В. Сапёрова // **Физиология человека. -2008. - Т. 34. - №5.-**

С. 89-96. ▲

4. Карпенко, Ю.Д. Функциональная вариабельность показателей внешнего дыхания студенток в зависимости от некоторых социально- гигиенических факторов / Ю.Д. Карпенко // **Научное обозрение. - 2008. - №3. - С28-31.**
5. Карпенко, Ю.Д. Особенности функционального состояния организма студентов ив условиях экзаменационного стресса / Ю.Д. Карпенко // **Гигиена и санитария. - 2010. - №1. - с. 78-80. ▲**
6. Карпенко, Ю.Д. Изучение развития организма на основе антропометрических показателей при рождении в зависимости от экологических, социальных и биологических факторов / Ю.Д. Карпенко // **Известия Самарского научного центра РАН. – 2011. - №5. - с.270-272.**
7. Карпенко, Ю.Д. Эколого-физиологические аспекты изучения развития организма / Ю.Д. Карпенко, Д.А. Димитриев // **В мире научных открытий. - 2010. - Том 10. - №4.9. - С.113-115.**
8. Карпенко, Ю.Д. Изменение показателей внешнего дыхания при эмоциональном стрессе / Ю.Д. Карпенко // **В мире научных открытий. - 2010. - № 6. - С.336-342.**
9. Димитриев, Д.А.Современные проблемы изучения физиологии развития организма / Д.А. Димитриев, Ю.Д. Карпенко // **Вестник МГОУ. – 2011. - № 2. - С.26-31.**
10. Карпенко, Ю.Д. Изменение показателей внешнего дыхания при эмоциональном стрессе / Ю.Д. Карпенко // **Вестник МГОУ. – 2011. - № 2. - С.42-46.**
11. Димитриев, Д.А. Эколого-физиологические и гигиенические аспекты течения жизни / Д.А. Димитриев, Ю.Д. Карпенко, А.Д. Димитриев // **Экология человека. - 2011. - №9. - с. 9 - 18.**
12. Карпенко, Ю.Д. Особенности функционального состояния сердечно-сосудистой системы у студентов в разных психоэмоциональных условиях в зависимости от их антропометрических показателей / Ю.Д. Карпенко // **Фундаментальные исследования. - 2011. - №9. – С. 335-338.**
13. Карпенко, Ю.Д. Отдаленные физиологические проявления отдельных функциональных параметров организма в зависимости от массы тела при рождении / Ю.Д. Карпенко // **Естественные и технические науки. - 2011. – Том 54. - №4. - С.202 -207.**
14. Карпенко, Ю.Д. Изучение зависимости вариабельности сердечного ритма от факторов внутренней и внешней среды / Ю.Д. Карпенко // **Фундаментальные исследования. - 2011. - № 10-3. - С. 619-623.**
15. Карпенко, Ю.Д. Использование концепции вегетативного баланса для оценки влияния социальных факторов на организм человека / Ю.Д. Карпенко // **В мире научных открытий. - 2011. - Том 21. - 9.6. – С.1753-1761.**
16. Димитриев, Д.А. Влияние экзаменационного эмоционального стресса на показатели внешнего дыхания студентов / Д.А. Димитриев, А.Д. Димитриев, Е.В. Саперова, Ю.Д. Карпенко // **Новые исследования. - 2011. - № 1. – С. 22-29.**
17. Карпенко, Ю.Д. Динамика функционального состояния и адаптационных

процессов у студентов в период обучения в вузе / Ю.Д. Карпенко // **Гигиена и санитария.** - 2012. - № 4. - С. 61-63. ▲

18. Карпенко, Ю.Д. Проблем физиологической значимости особенностей массы тела при рождении для последующих возрастных периодов / Ю.Д. Карпенко // **Казанский медицинский журнал.** - 2012. - Т. 93. - № 2. - С. 330-334. ▲

19. Карпенко, Ю.Д. Влияние индекса массы тела на вариабельность сердечного ритма у студентов в условиях относительного покоя и экзаменационного стресса / Ю.Д. Карпенко, Д.А. Дмитриев // **Медицина и образование в Сибири.** – 2012. - № 6.

20. Дмитриев, Д.А. Особенности изменения функционального состояния организма студентов за время обучения в вузе / А.Д. Дмитриев, Ю.Д. Карпенко, А.Д. Дмитриев // **Медицина и образование в Сибири.** – 2012. - № 6.

21. Дмитриев, Д.А. Влияние индекса массы тела на вариабельность сердечного ритма у студентов а условиях относительного покоя и экзаменационного стресса / Д.А. Дмитриев, Ю.Д. Карпенко, А.Д. Дмитриев // **Социальные аспекты здоровья населения.** – 2012 - № .6

22. Дмитриев, Д.А. Исследование показателей функционального состояния вегетативной нервной системы в разных психоэмоциональных условиях в зависимости от индекса массы тела / Д.А. Дмитриев, Ю.Д. Карпенко // **Фундаментальные исследования.** – 2012. - № 11. – С. 1329-1333.

23. Дмитриев Д.А. Применение метода анализа вариабельности сердечного ритма с использованием графика Пуанкаре для оценки функционального состояния вегетативной нервной системы в период эмоционального стресса / Д. А. Дмитриев, Е. В. Саперова, Ю. Д. Карпенко, А. Н. Зотова // **Вестник ЧГПУ им. И. Я. Яковлева.** - 2012. - № 4. – С. 64-68.

Статьи и тезисы, опубликованные в зарубежных журналах и изданиях

24. Dimitriev D.A. Birth weight and length as predictors for children height at 2-6 years of age / D.A. Dimitriev, Y.D. Karpenko // **Epidemiology.** – 2006. - Vol. 7. - № 6. - S. 527-528.

25. Dimitriev D.A., The effects of subjects personality on heart rate variability during stress / D.A. Dimitriev, E.V. Saperova, Y.D. Karpenko // **Proceedings Life Sciences Glasgow 2007.** - P. 156.

26. Dimitriev, D.A. Cardiovascular functioning during different phases of menstrual cycle / D.A. Dimitriev, E.V. Saperova, Y.D. Karpenko / **Proceedings Life Sciences Glasgow 2007.** - P. 183.

27. Dimitriev, D.A. Heart rate variability during real life stress / D.A. Dimitriev, E.V. Saperova, Y.D. Karpenko // **International Journal of Psychophysiology.** - 2008. – Vol.69. - S. 286-287.

28. Dimitriev, D.A. Regression to mean: modification of examination stress data / D.A. Dimitriev, E.V. Saperova, Y.D. Karpenko // **Abstracts for the Scandinavian physiological society's annual meeting, 12-14 August 2011, Bergen, Norway.** - P.

83.

29. Dimitriev, D.A. Influence of noise on heart rate variability and respiratory rate/ D.A.Dimitriev, O.S. Indeykina, Y.D. Karpenko, A.D. Dimitriev// Epidemiology – 2012. – Vol. 23 – Suppl. 5- P.39.

30. Dimitriev, D.A. The effect of real life stress on respiration and respiratory sinus arrhythmia / D.A. Dimitriev, Y.D. Karpenko, E.V. Saperova, A.D.Dimitriev // International Journal of Psychophysiology. - 2012. - Vol.85. - P. 414-415.

Статьи, опубликованные в научных журналах, научных изданиях и сборниках

31. Димитриев, Д. А Взаимосвязь между функциональной асимметрией головного мозга и вариабельностью сердечного ритма (ВСР) в период экзаменационной сессии / Д.А. Димитриев, А.Д. Димитриев, Е.В. Сапёрова, Ю.Д. Карпенко // Научные труды I Съезда физиологов СНГ. Т. 1. -М.: Медицина-Здоровье, 2005.- С. 280.

32. Димитриев, Д. А. Влияние функционального состояния организма студентов в межсессионный период на экзаменационные показатели ВСР / Д.А. Димитриев, А.Д. Димитриев, Е.В. Сапёрова, Ю.Д. Карпенко // Научные труды I Съезда физиологов СНГ. Т. 1. -М.: Медицина-Здоровье, 2005.- С. 280.

33. Димитриев, Д. А. Реакция организма на экзаменационный стресс / Д. А.Димитриев, Ю.Д. Карпенко // Физиология сердца. Материалы всероссийской научной конференции. –Казань: ТГГПУ, 2005. -С. 64-65.

34. Карпенко, Ю.Д. Модифицирующее влияние социальных факторов на формирование функционального состояния системы кардиорегуляции / Карпенко Ю.Д. // Состояние биосферы и здоровье людей : сб. науч. ст. - Пенза, 2006. -С. 93-95.

35. Карпенко, Ю.Д. Личностные особенности изменений ритмограммы сердца у студенток в течение учебного года / Ю.Д. Карпенко // Состояние биосферы и здоровье людей : сб. науч. ст. - Пенза, 2006. -С. 95-97.

36. Карпенко, Ю.Д. Функциональное состояние системы внешнего дыхания и студентов как критерий адаптации организма к условиям окружающей среды / Ю.Д. Карпенко // Состояние биосферы и здоровье людей : сб. науч. ст. - Пенза, 2006. -С. 97-99.

37. Димитриев, Д.А. Изменение показателей вегетативной регуляции сердечного ритма в период экзаменационного стресса в зависимости от индивидуальных психологических особенностей студентов / Д.А. Димитриев, Е.В. Сапёрова, Ю.Д. Карпенко // Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні наукові дослідження -'2006». Т. 20. -Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2006. - С. 62-64.

38. Димитриев, Д А.. Влияние тревожности на показатели ВСР у студенток в межсессионный период перед экзаменом / Д.А. Димитриев, Е.В. Сапёрова, Ю.Д. Карпенко // Сибирский консилиум. Медико-фармацевтический журнал. - 2007. - № 7. -С. 184.

39. Карпенко, Ю.Д. Анализ вариабельности сердечного ритма у студентов в

менструальном цикле в зависимости от средовых факторов различной природы / Карпенко Ю.Д. // Приоритетные направления развития науки и технологий: доклады Всероссийской научно-технической конференции. - Тула: Издательство ТулГУ, 2007. - С. 44-46.

40. Карпенко, Ю.Д. Проходимость воздухоносных путей у женщин в зависимости от особенностей окружающей среды / Карпенко Ю.Д. // Приоритетные направления развития науки и технологий: доклады Всероссийской научно-технической конференции. - Тула: Издательство ТулГУ, 2007. - С. 46-48.

41. Димитриев, А.Д. Трансформация в онтогенезе окружающей действительности в биосоциальный статус человека / А.Д.Димитриев, Ю.Д. Карпенко // Межвузовский сборник научных трудов «XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего. - М., 2008. - Вып. №11. - С. 128-133.

42. Димитриев, А.Д. Формирование биосоциального статуса человека в зависимости от факторов различной природы / А.Д.Димитриев, Ю.Д. Карпенко // Экологическое образование и воспитание как факторы социального, экономического и нравственного развития общества (теоретические и практические аспекты): сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции. - Казань, 2009.-С. 98-105.

43. Димитриев, А.Д. Комплексное исследование биосоциального статуса студентов / А.Д.Димитриев, Д.А. Димитриев, Ю.Д. Карпенко // Научно-теоретический журнал: Вестник Чебоксарского кооперативного института. - 2008. - № 2. - С. 208-213.

44. Карпенко, Ю.Д. Онтогенетические аспекты изучения течения жизни человека / Ю.Д. Карпенко // 1-я Международная научно-практическая конференция «Роль науки в устойчивом развитии общества». Тамбов, 2009. – С. 38-40.

45. Карпенко, Ю.Д. Изучение влияния менструального цикла на функционирование системы кардиорегуляции / Ю.Д. Карпенко // Международная конференция «Физиология развития человека. Секция 3. Формирование висцеральных систем организма ребенка». М.: Вердана, 2009. - С. 46-47.

46. Димитриев, Д.А. Анализ variability сердечного ритма посредством графика Пуанкаре / Д.А. Димитриев, Ю.Д. Карпенко, А.Д. Димитриев / Variability сердечного ритма: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Чебоксары: Чуваш.гос.пед.ун-т. 2011. - С.38—44.

47. Димитриев, Д.А. Variability сердечного ритма при свободном дыхании и при дыхании с заданным ритмом / Д.А. Димитриев, Ю.Д. Карпенко, А.Д. Димитриев // Variability сердечного ритма: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Чебоксары: Чуваш.гос.пед.ун-т. 2011. - С.44 - 49.

48. Димитриев, Д. А.. Особенности реакции сердечно-сосудистой системы на экзаменационный стресс / Д.А. Димитриев, Е.В. Саперова, Ю.Д. Карпенко // XX съезд Физиологического общества им. И.П. Павлова : тезисы докладов. - М. : Издательский дом «Русский врач», 2007. - С. 213.
49. Сапёрова, Е.В. Вариабельность сердечного ритма в разные фазы менструального цикла / Е.В. Саперова, Ю.Д. Карпенко // XX съезд Физиологического общества им. И.П. Павлова : тезисы докладов. - М.: Издательский дом «Русский врач», 2007. - С. 408.
50. Карпенко, Ю.Д. Влияние индивидуальной склонности к тревоге на характер протекания экзаменационного стресса / Ю.Д. Карпенко // VI Сибирский физиологический съезд: тезисы докладов, :2008 в 2т. Т.2. - Барнаул : Принтэкспресс, 2008. - С.64.
51. Карпенко, Ю.Д. Изучение связи тревожности с показателями ВСР в межсессионный период и перед экзаменом / Карпенко Ю.Д. // VI Сибирский физиологический съезд : тезисы докладов, :2008, в 2т. Т.2. - Барнаул: Принтэкспресс, 2008. - С.64.
52. Димитриев, А.Д. Система внешнего дыхания у студентов / А.Д. Димитриев, Ю.Д. Карпенко // Физиологические механизмы адаптации растущего организма: материалы IX Всероссийской научно-теоретической конференции. - Казань, 2008. - С. 46-47.
53. Карпенко, Ю.Д. Физиолого-гигиеническая оценка формирования отдельных морфофункциональных параметров организма в процессе онтогенеза / Ю.Д. Карпенко, Д.А. Димитриев // Научные труды 2-го съезда физиологов СНГ. - Кишинев, 2008. - С. 192.
54. Димитриев, Д.А. Особенности адаптационных реакций у студентов в зависимости от их росто-весовых показателей / Д.А. Димитриев, Ю.Д. Карпенко // Теоретические основы физической культуры. Тезисы Всероссийской научной конференции с международным участием. - Казань: Изд-во ТГГПУ, 2009. - С.60.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

РСА – респираторная синусовая аритмия
ВНС – вегетативная нервная система
ККМ – комплексная корреляционная мера
GI – индекс Гузика (Guzik index)
ИМТ – индекс массы тела

ЧД – частота дыхания
ДО – дыхательный объем
ЖЕЛ – жизненная емкость легких
ФЖЕЛ – форсированная емкость легких
ОФВ1 – объем форсированного выдоха за первую секунду
ОФВ1/ЖЕЛ – индекс Тиффно
РТ – реактивная тревожность
ЛТ – личностная тревожность
ЧСС – частота сердечных сокращений
САД – систолическое артериальное давление
ДАД – диастолическое артериальное давление
ВИК – вегетативный индекс Кердо
МП – межсессионный период
ОЭ – период ожидания экзамена
ИМТ – индекс массы тела
МТР – масса тела при рождении